4.



PROPÄDEUTIK

FÜR DAS STUDIUM DER

AUGENHEILKUNDE

BEARBEITET FÜR

STUDIRENDE UND ÄRZTE

VON

DR. J. HOCK,
Privatdocent in Wien.

MIT 61 IN DEN TEXT GEDRUCKTEN ABBILDUNGEN.

STUTTGART.
VERLAG VON FERDINAND ENKE.
1887.

Arkövy, Docent Dr. Jos., **Diagnostik der Zahnkrankheiten und der durch Zahnleiden bedingten Kieferkrankheiten.** Nebst einem Anhange über die Differentialdiagnose von Zahn- und Augen- als auch Ohrenkrankheiten. Mit 24 Holzschnitten. gr. 8. 1885. geh. M. 9. —

Baas, Dr. J. H., **Grundriss der Geschichte der Medicin** und des heilenden Standes. Mit Bildnissen in Holzschnitt. gr. 8. 1876. geh. M. 20. —

Baas, Dr. J. H., **Leitfaden der Geschichte der Medicin.** Mit Bildnissen in Holzschnitt und Facsimiles von Autographen. gr. 8. 1880. geh. M. 3. 60.

Baginsky, Docent Dr. A., **Handbuch der Schulhygiene** zum Gebrauche für Aerzte, Sanitätsbeamte, Lehrer, Schulvorstände und Techniker. Zweite vollständig umgearbeitete und vielfach vermehrte Auflage. Mit 104 Holzschnitten. gr. 8. 1883. geh. M. 14. —

Biedert, Dr. Ph., Kreisarzt, **Die Kinderernährung im Säuglingsalter.** 8. 1880. geh. M. 8. —

Burow, Prof. Dr. E., **Laryngoskopischer Atlas**, enthaltend 61 Figuren auf 10 Tafeln in Farbendruck, nach der Natur gemalt und erläutert. Lex.-8. 1877. geh. M. 12. —

Fischer, Prof. Dr. E., **Handbuch der allgemeinen Verbandlehre.** Zweite Auflage. Mit 206 in den Text gedruckten Holzschnitten. gr. 8. 1884. geh. M. 7. 60.

Fischer, Prof. Dr. H., **Handbuch der Kriegschirurgie.** Zweite vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 170 Holzschnitten und 32 Tabellen. 2 Bände. gr. 8. 1882. geh. M. 26. —

Fritsch, Prof. Dr. H., **Grundzüge der Pathologie und Therapie des Wochenbetts.** gr. 8. 1884. geh. M. 5. —

Goldzieher, Docent Dr. W., **Therapie der Augenkrankheiten** für praktische Aerzte und Studirende. gr. 8. 1881. geh. M. 7. —

Hebra, Prof. Dr. F., und **Kaposi**, Prof. Dr. M., **Lehrbuch der Hautkrankheiten.** Zweite Auflage. 2 Bände. gr. 8. 1872—1876. M. 28.40.

Hegar, Prof. Dr. A., und **Kaltenbach**, Prof. Dr. R., **Die operative Gynäkologie** mit Einschluss der gynäkologischen Untersuchungslehre. Dritte gänzlich umgearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 248 Holzschnitten. gr. 8. 1886. geh. M. 20. —

PROPÄDEUTIK

FÜR DAS STUDIUM DER

AUGENHEILKUNDE

BEARBEITET FÜR

STUDIRENDE UND ÄRZTE

VON

DR. J. HOCK,
Privatdocent in Wien.



MIT 61 IN DEN TEXT GEDRUCKTEN ABBILDUNGEN.

STUTTGART.
VERLAG VON FERDINAND ENKE.
1887.

Druck von Gebrüder Kröner in Stuttgart.



Vorwort.

Ursprünglich als Leitfaden bei meinen Vorträgen über Propädeutik der Augenheilkunde entstanden, sollen diese Blätter nunmehr einem grösseren Leserkreise zugänglich gemacht werden, weil der Verfasser in der ophthalmologischen Literatur kein Buch gefunden hat, welches wie das vorliegende die wichtigsten Capitel aus der physiologischen Optik und die verschiedenen Untersuchungsmethoden des Auges im Zusammenhange behandelt. Die Bearbeitung der Functionsprüfungen des Auges durch Snellen und Landolt im Handbuche von Graefe und Sämisch ist einerseits für solche geschrieben, die sich speciell mit Augenheilkunde beschäftigen wollen, andererseits in einem weitläufigen Werke enthalten, welches nicht Jedermann leicht zugänglich ist. Zudem beschränkt sich dieselbe, ihrer Aufgabe gemäss, auf die Untersuchungsmethoden, ohne auf die physiologisch-optischen Grundlagen näher einzugehen.

Besondere Aufmerksamkeit ist der Lehre von der Loupe und deren Beziehungen zum Auge, sowie der Untersuchung der Augenbewegungen gewidmet. Der Inhalt der ersteren, welcher einen neuen Standpunkt kennzeichnet, ist schon vor einem Jahre als vorläufige Mittheilung in der „Wiener Klinik" erschienen. Den Gesetzen der Augenbewegung wurde eingehendere Aufmerksamkeit zugewendet, weil in den meisten Hand- und Lehrbüchern ihre Bearbeitung minder ausführlich ist.

Die Rücksicht, dem ärztlichen Practiker die Untersuchungsmethoden klar und verständlich darzulegen, wurde nie aus dem Auge gelassen.

Möge dieser Versuch einer Propädeutik der Augenheilkunde sich zahlreiche Freunde erwerben und damit sein Erscheinen rechtfertigen.

Sulz, im September 1887.

Der Verfasser.

Inhalt.

Benützte Werke.

1862. v. Graefe, A., Ueber musculäre Asthenopie. Archiv für Ophthalmologie. VIII. Band.

1867. Donders, F. C., Die Anomalien der Refraction und Accommodation des Auges. Wien.

1867. Helmholtz, H., Handbuch der physiologischen Optik. Leipzig.

1868. Stellwag v. Carion, C., Der intraoculäre Druck und die Innervationsverhältnisse der Iris. Wien.

1868. Hering, E., Die Lehre vom binoculären Sehen. Leipzig.

1869. v. Graefe, A., Ueber die Operation des dynamischen Auswärtsschielens u. s. w. Klin. Monatsbl. für Augenheilkunde. VII. Band.

1871. Hock, J., Untersuchungen über die Grösse der Bilder bei Combination zweier optischer Systeme. Graefe's Archiv für Ophthalmologie. XVII. Band. Abtheilung 2.

1872. Mauthner, L., Vorlesungen über die optischen Fehler des Auges. Wien.

1874. Merkel, Mikroskopische Anatomie in Graefe-Sämisch's Handbuch der gesammten Augenheilkunde. Leipzig.

1874. Snellen und Landolt, Die Functionsprüfungen des Auges. Graefe-Sämisch's Handbuch der gesammten Augenheilkunde. Leipzig.

1875. Hering, E. Z., Lehre vom Lichtsinn, Referat in Zehender's Kleinem Monatsblatt für Augenheilkunde.

1876. v. Jäger, E., Ergebnisse der Untersuchungen mit dem Augenspiegel etc. Wien.

1876. Leber, Th., Die Circulations- und Ernährungsverhältnisse des Auges in Graefe-Sämisch's Handbuch der gesammten Augenheilkunde. II. Band.

1878. Holmgren, F., Die Farbenblindheit in ihren Beziehungen etc. Leipzig.

1879. Fick, Physiologie der Sinnesorgane. Handbuch der Physiologie von Herrmann. III. Band. Leipzig.

1879. v. Reuss, A., Ueber Farbenblindheit. Wiener Klinik V, 3.

1880. Nagel, A., Die Anomalien der Refraction und Accommodation des Auges. Graefe-Sämisch's Handbuch der gesammten Augenheilkunde. VI. Band.

1880. Hering, E., Zur Erklärung der Farbenblindheit etc. Sep.-Abdr. aus dem Jahrbuch für Naturwissenschaften, Lotos, Prag.

1881. Leeser, Die Pupillarbewegung etc. Gekrönte Preisschrift. Wiesbaden.

1885. Schnabel, J., Beitrag zur Lehre vom Glaucom. III. Art. Archiv für Augenheilkunde. XV. Band. 3. und 4. Heft.

1887. Dimmer, Der Augenspiegel etc. Leipzig und Wien.

Einleitung.

§ 1. In jedem einfachen oder zusammengesetzten dioptrischen Systeme unterscheiden wir 3 Paare von Punkten, welche auf der optischen Axe, d. i. auf jener Linie, welche die Krümmungsmittelpunkte mit einander verbindet, derart gelegen sind, dass durch deren Lage der Gang der Lichtstrahlen nach der letzten Brechung vollkommen bestimmt wird.

Diese drei Punktpaare werden als vorderer und hinterer Hauptbrennpunkt, als vorderer und hinterer Hauptpunkt und als vorderer und hinterer Knotenpunkt bezeichnet.

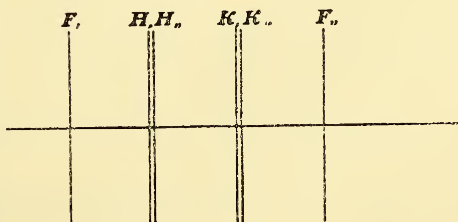
Die Hauptbrennpunkte haben die Eigenschaft, dass Strahlen, die von ihnen aus- und durch das dioptrische System gehen, bei ihrem Austritte aus letzterem mit einander und mit der Axe parallel verlaufen, und dass vice versa ein paralleles Strahlenbündel, welches auf das optische System in der Richtung der optischen Axe einfällt, in diesen Punkten vereinigt wird.

Wir unterscheiden ferner einen vorderen und hinteren Hauptbrennpunkt je nach der Seite, von welcher das Licht auf das optische System auffällt.

Die beiden Hauptpunkte haben eine solche Lage, dass jeder Strahl, welcher vor der Brechung auf den vorderen Hauptpunkt hinzielt, nach derselben durch den zweiten Hauptpunkt hindurchgegangen ist.

Die beiden Knotenpunkte sind so gelegen, dass jeder Strahl, welcher vor der Brechung nach dem ersten Knotenpunkte zielt, nach der letzten Brechung derart austritt, als käme er vom zweiten Knotenpunkte, zugleich aber auch in einer dem einfallenden Strahle parallelen Richtung her.

Fig. 1.

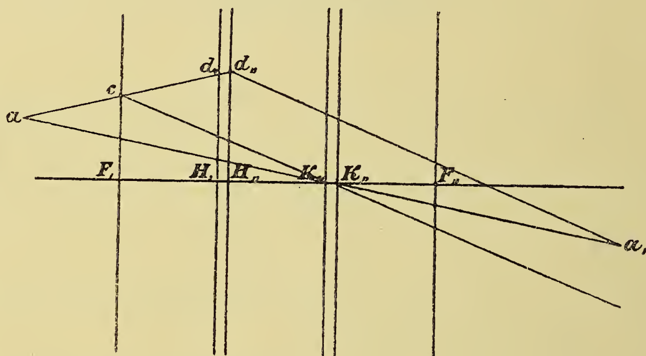


In allen Cardinalpunkten, mit welchem gemeinschaftlichen Namen die beschriebenen Punkte bezeichnet werden, können wir uns auf die Axe senkrechte Ebenen gelegt denken, welche dieselben Eigenschaften haben, wie die Punkte selbst, und wir unterscheiden desshalb vordere und hintere Hauptbrennebenen (F, und F,,), vordere und hintere Hauptebenen (H, und H,,) und vordere und hintere Knotenpunktsebenen (K, und K,,). (Siehe Fig. 1.)

Ist die Lage der Cardinalebenen bestimmt, so lässt sich der Gang jedes wie immer zum optischen Systeme gelegenen Strahles oder Strahlenkegels nach der letzten Brechung construiren.

Wäre a d, (Fig. 2) ein solcher Strahl, welcher bei d, die erste Hauptebene trifft, so würde dieser in c die Hauptbrennebene schneiden. Ziehen wir von diesem Punkte zum ersten Knotenpunkte K, eine gerade Linie und vom zweiten Knotenpunkte K,, eine zu dieser parallele; bezeichnet d,, den Punkt der zweiten Hauptebene, durch welchen der

Fig. 2.



Strahl hindurchgehen muss, so wird die von d,, ausgehende und zu c K, parallele Linie den Weg des Strahles nach der Brechung angeben. Ziehen wir a K,, so sei dies ein zweiter von a ausgehender Strahl, zu welchem eine von K,, ausgehende Parallele den ersten Strahl in a, schneidet.

a, ist demnach der Vereinigungspunkt des Strahlenkegels a d, K,.

a, wird auch als das Bild von a bezeichnet und a und a, conjugirte Vereinigungspunkte genannt, weil alle Strahlen, welche von a ausgehen, in a, nach der Brechung sich vereinigen und alle von diesem letzteren Punkte ausgehenden Strahlen in a zur Vereinigung kommen.

Die Entfernung des vorderen Hauptbrennpunktes vom vorderen Hauptpunkte (F,) wird vordere Hauptbrennweite, die Entfernung des hinteren Hauptbrennpunktes vom hinteren Hauptpunkte hintere Hauptbrennweite genannt (F,,).

Die Distanz zwischen vorderem Hauptbrennpunkte und vorderem Knotenpunkte wird als vorderer Knotenpunktsabstand (G,) und die Distanz zwischen hinterem Hauptbrennpunkte und hinterem Knotenpunkte als hinterer Knotenpunktsabstand (G,,) bezeichnet.

Den Abstand des Objectes vom vorderen Hauptpunkte nennen wir Objectsdistanz (f,), die Entfernung des Bildes vom hinteren Hauptpunkte Bilddistanz (f,,).

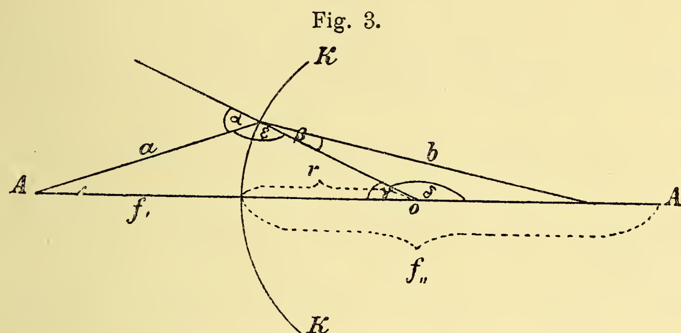
Den Abstand des Objectes vom vorderen Knotenpunkte bezeichnen wir mit g, und die Entfernung des Bildes vom hinteren Knotenpunkte mit g,,.

Um die Beziehungen dieser verschiedenen Grössen zu einander und somit die Ausdrücke zu finden, mittelst welcher wir die Werthe

dieser verschiedenen Distanzen, sowie die Bildgrössen zu finden vermögen, diene die folgende einfache Entwickelung.

Es sei in Fig. 3 KK die Trennungsfläche eines kugelförmigen, brechenden Mediums, AA die Axe des brechenden Systemes. Bezeichnet a den einfallenden, b den gebrochenen Strahl, $f_{,}$ die Entfernung des leuchtenden Punktes von der Trennungsfläche, $f_{,,}$ die Entfernung des

Fig. 3.



Bildpunktes von derselben, r den Krümmungsradius und oe ein im Punkte e auf die Trennungsfläche errichtetes Loth; dann ist $\sphericalangle\,\alpha$ der Einfallswinkel, $\sphericalangle\,\beta$ der Brechungswinkel, $\sphericalangle\,\varepsilon$ der Nebenwinkel von $\sphericalangle\,\alpha$ und $\sphericalangle\,\gamma$ der Nebenwinkel von $\sphericalangle\,\delta$.

Da sich in geradlinigen Dreiecken je 2 Seiten wie die Sinus der ihnen gegenüberliegenden Winkel verhalten, ergeben sich folgende Beziehungen:

$$\frac{\sin\varepsilon}{\sin\gamma}\ \text{oder, da } \varepsilon \text{ und } \alpha \text{ Nebenwinkel sind,}$$

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{f_{,} + r}{a} \quad \text{und} \quad \frac{\sin\beta}{\sin\delta} = \frac{f_{,,} - r}{b}.$$

Dividiren wir diese beiden Gleichungen, so ist

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} \cdot \frac{\sin\delta}{\sin\gamma} = \frac{f_{,} + r}{f_{,,} - r} \cdot \frac{b}{a}.$$

Da nun

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_{,,}}{n_{,}},$$

indem sich der Sinus des Einfallswinkels zu dem des Brechungswinkels verhält wie der Brechungsindex des zweiten Mittels zu dem des ersten und

$$\frac{\sin\delta}{\sin\gamma} = 1,$$

weil δ und γ Nebenwinkel sind, so verändert sich die letzte Gleichung in folgende

$$\frac{n_{,,}}{n_{,}} = \frac{f_{,} + r}{f_{,,} - r} \times \frac{b}{a} \quad \text{oder} \quad \frac{n_{,,}}{n_{,}} \times \frac{a}{b} = \frac{f_{,} + r}{f_{,,} - r}.$$

Für alle Strahlen, welche sehr nahe der Axe auf das optische System auffallen, können wir mit einem kleinen Fehler $f_{,}$ für a, $f_{,,}$ für b setzen, wodurch die Gleichung nunmehr lautet:

$$\frac{n_{,,}}{n_{,}} \times \frac{f_{,}}{f_{,,}} = \frac{f_{,} + r}{f_{,,} - r}.$$

Multipliciren wir die Gleichung mit $n_{,} f_{,,}$ und $f_{,,} - r$, so erhalten wir

$$(f_{,,} - r)\, n_{,,} f_{,} = (f_{,} + r)\, n_{,} f_{,,} = f_{,} f_{,,} n_{,,} - r n_{,} f_{,} = n_{,} f_{,} f_{,,} + r n_{,} f_{,,} =$$

$$(n_{,,} - n_{,})\, f_{,} f_{,,} = r\,(n_{,,} f_{,} + n_{,} f_{,,}) = \frac{n_{,,} - n}{r} = \frac{(n_{,,} f_{,} + n_{,} f_{,,})}{f_{,} f_{,,}} =$$

$$\frac{n_{,,} - n_{,}}{r} = \frac{n_{,,}}{f_{,,}} + \frac{n_{,}}{f_{,}} \quad \text{oder} \quad \frac{n_{,}}{f_{,}} + \frac{n_{,,}}{f_{,,}} = \frac{n_{,,} - n_{,}}{r} \quad . \; . \; a)$$

als Grundgleichung für die Brechung von Strahlen, welche sehr nahe der Axe einfallen.

Wird $f_{,} = \infty$, so wird $f_{,,} = F_{,,} = \frac{n_{,,} r}{n_{,,} - n_{,}}$ = der hinteren Brennweite werden.

Ist $f_{,,} = \infty$, dann ist $f_{,} = F_{,} = \frac{n_{,} r}{n_{,,} - n_{,}}$ = der vorderen Brennweite.

Multipliciren wir die Gleichung a) mit r, und dividiren wir sie durch $n_{,,} - n_{,}$, dann haben wir

$$\frac{n_{,} r}{f_{,}(n_{,,} - n_{,})} + \frac{n_{,,} r}{f_{,,}(n_{,,} - n_{,})} = 1 \quad \text{oder} \quad \frac{F_{,}}{f_{,}} + \frac{F_{,,}}{f_{,,}} = 1, \; . \; . \; b)$$

die Formel für die Beziehungen der Hauptbrennweiten, sowie der Objects- und Bilddistanzen eines jeden Systemes von kugeligen Flächen.

Ebenso lässt sich zeigen, dass

$$\frac{G_{,}}{g_{,}} + \frac{G_{,,}}{g_{,,}} = 1 \text{ ist.}$$

Multipliciren wir die Gleichung b) mit $f_{,} f_{,,}$, dann haben wir $f_{,,} F_{,} + f_{,} F_{,,} = f_{,} f_{,,}$; ziehen wir beiderseits $F_{,} F_{,,}$ ab: $f_{,,} F_{,} + f_{,} F_{,,} - F_{,} F_{,,} = f_{,} f_{,,} - F_{,} F_{,,}$. Heben wir aus dieser Gleichung Factoren aus, so ergibt sich schliesslich $(f_{,} - F_{,})\,(f_{,,} - F_{,,}) = F_{,} F_{,,}$. Setzen wir $f_{,} - F_{,} = l_{,}$ und $f_{,,} - F_{,,} = l_{,,}$, und substituiren wir diese Ausdrücke in die letzte Gleichung, dann haben wir:

$$l_{,} l_{,,} = F_{,} F_{,,}, \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; c)$$

eine für unsere Zwecke höchst wichtige Gleichung.

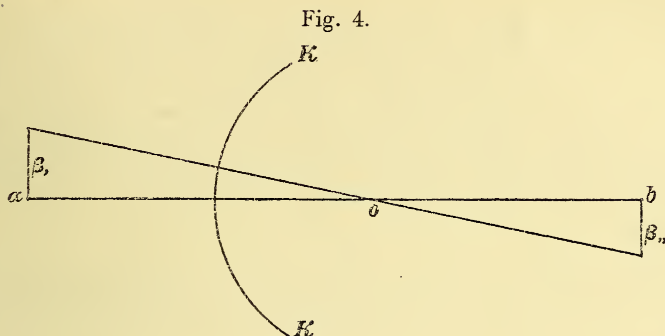
Um die Werthe für die Grösse der Bilder zu finden, diene folgende Construction.

Es sei wieder in Fig. 4 KK die kugelige Oberfläche des brechenden Mediums, o deren Mittelpunkt und gleichzeitig der Knotenpunkt des optischen Systemes, ao die Objectdistanz in Bezug auf den Knotenpunkt, bo die Bilddistanz, $\beta_{,}$ die Grösse des Objectes.

Ziehen wir vom obersten Punkte von $\beta_{,}$ eine Gerade, welche durch o hindurchgeht, und errichten wir in b eine Verticale, bis diese

die Verlängerung der Geraden trifft, dann haben wir die Grösse von $\beta_{,,}$ gefunden.

Fig. 4.



Die bei dieser Construction entstehenden zwei Dreiecke sind einander ähnlich, weil alle drei Winkel wechselweise einander gleich sind.

Es ist desshalb:

$$\frac{\beta_{,}}{-\beta_{,,}{}^{*)}} = \frac{ao}{bo} = \frac{g_{,}}{g_{,,}},$$

$g_{,}$ ist aber gleich $f_{,} + (F_{,,} - F_{,})$, und $g_{,,}$ ist gleich $f_{,,} - (F_{,,} - F_{,})$, oder, was dasselbe ist, $g_{,}$ ist gleich $l_{,} + F_{,,}$, und $g_{,,}$ ist gleich $l_{,,} + F_{,}$.

Setzen wir ferner statt $l_{,,} = \frac{F_{,}F_{,,}}{l_{,}}$, dann ist

$$\frac{\beta_{,}}{-\beta_{,,}} = \frac{l_{,} + F_{,,}}{\frac{F_{,}F_{,,} + F_{,}}{l}} = \frac{l_{,}}{F_{,}} \quad \text{oder} \quad \frac{\beta_{,}}{\beta_{,,}} = -\frac{l_{,}}{F_{,}} \quad . \quad . \quad . \quad d)$$

der Ausdruck der Grösse des Bildes in Bezug auf die Grösse des Objectes.

Ebenso lässt sich zeigen, dass

$$\frac{\beta_{,,}}{\beta_{,}} = -\frac{l_{,,}}{F_{,,}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad d_{,})$$

Durch die angeführten Gleichungen können ebenso bestimmt, wie früher durch Construction, Lage und Grösse der Bilder von Objecten berechnet werden, wenn die Hauptbrennweiten, die Objectsdistanz und die Grösse des Objectes bekannt sind.

Ist der Brechungsindex des ersten und letzten Mittels ungleich, so ist auch die Grösse von $F_{,}$ und $F_{,,}$ verschieden, haben aber das Mittel, aus welchem die Strahlen in das brechende System eintreten, und das Mittel, in welches sie nach der letzten Brechung austreten, denselben Brechungsindex, dann ist $F_{,} = F_{,,}$, und aus der Formel a) entsteht

$$\frac{1}{f_{,}} + \frac{1}{f_{,,}} = \frac{1}{F} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad e)$$

welche Gleichung den Namen der Linsenformel führt.

---

*) $\beta_{,,}$ ist negativ, weil das Bild umgekehrt ist.

Diese Formel bezieht sich vor Allem auf jene brechenden Körper, welche wir als Linsen bezeichnen, und die gewöhnlich aus Glas geschliffen sind.

Unter ihnen sind es die Biconvex- und Biconcavlinsen, welche in Bezug auf die Lage der Cardinalpunkte die einfachsten Verhältnisse darbieten. Es sind nämlich die beiden Hauptpunkte und die beiden Knotenpunkte in einem Punkte, und zwar in der Mitte der Linse, vereinigt, wesshalb derselbe Centrum der Linse genannt wird. Die beiden Hauptbrennweiten werden vom Centrum der Linse aus berechnet und sind einander gleich, weil die Linse von beiden Seiten von Luft umgeben ist.

Da der auf den vorderen Knotenpunkt zielende Strahl derart gebrochen wird, dass er bei seinem Austritte in derselben Richtung, aber um die Distanz der beiden Knotenpunkte verschoben, aus dem Systeme austritt, so wird derselbe in solchen Glaslinsen ungebrochen durch das Centrum derselben gehen.

In jedem auf solche Linsen fallenden Strahlenkegel wird es desshalb einen Strahl geben, welcher durch das Centrum der Linse, also ungebrochen hindurchgeht, und da dieser Strahl die Richtung angibt, gegen welche hin die übrigen Strahlen des Kegels nach der Brechung convergiren, so wird jener der Richtungsstrahl genannt.

Da in jedem optischen Systeme die Brennweiten positiv genommen werden, wenn parallele Strahlen, welche von der anderen Seite das optische System treffen, diesseits sich im Hauptbrennpunkte vereinigen, als negativ aber, wenn die parallelen Strahlen auf derselben Seite wie ihr Vereinigungspunkt zu liegen kommen, so werden auch die Brennweiten einer Biconvexlinse positiv, die einer Biconcavlinse negativ sein.

§ 2. Für unsere Zwecke ist es von Wichtigkeit, die Lage und die Bildgrösse von Objecten kennen zu lernen, von welchen Strahlen eine Fläche dieser Linsen treffen. Zu diesem Zwecke brauchen wir nur den Werth der Objectsdistanz resp. die Differenz zwischen dieser und der Brennweite ($l_{,}$ oder $l_{,,}$) in die Gleichungen e), d) oder $d_{,}$) einzusetzen.

Man findet daraus folgendes Rechnungsresultat in Betreff der Lage der Bilder.

1. Bei Biconvexlinsen. Befindet sich das Object in unendlicher Entfernung von der Linse, so liegt das Bild im zweiten Hauptbrennpunkte. Während das Object von der unendlichen Entfernung bis zur doppelten Brennweite vorrückt, fällt das Bild zwischen den zweiten Hauptbrennpunkt und die doppelte Brennweite. Steht das Object in der doppelten ersten Brennweite, so liegt das Bild in der doppelten zweiten Brennweite. Während das Object von der doppelten ersten Brennweite bis zum vorderen Brennpunkte fortschreitet, formirt sich das Bild in dem Raume zwischen doppelter Brennweite und der unendlichen Entfernung. Befindet sich das Object im ersten Hauptbrennpunkte, dann liegt das Bild in der (negativen) unendlichen Entfernung. Tritt das Object innerhalb der Brennweite bis zu deren Mitte, dann liegt das Bild zwischen (positiver) unendlicher Entfernung und dem vorderen Hauptbrennpunkte, das Bild wird virtuell. Schreitet das Object von der halben Brennweite bis an die vordere Fläche der Linse vor, dann liegt sein Bild zwischen vorderem Hauptbrennpunkte

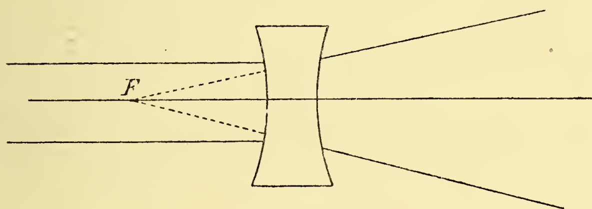
und der vorderen Linsenfläche. In der letzten fallen demnach Object und Bild zusammen.

Wird die Objectsdistanz negativ, d. h. ist das Object ein virtuelles, indem convergirende Strahlen auf die vordere Fläche der Linse fallen, so zeigt die Rechnung Folgendes:

Während die negative Objectsdistanz zwischen negativer unendlicher Entfernung und dem hinteren Hauptbrennpunkte liegt, wird das Bild zwischen hinterem Hauptbrennpunkte und der halben Brennweite erzeugt. Für die negativen Lagen des Objectes zwischen hinterem Hauptbrennpunkte und der hinteren Linsenfläche finden wir das Bild zwischen der halben hinteren Brennweite und der hinteren Linsenfläche.

2. Bei Biconcavlinsen. Diese geben für alle positiven Entfernungen des Objectes virtuelle Bilder (siehe Fig. 5), und zwar, steht das Object in positiver unendlicher Entfernung, so treten die Strahlen so aus, als kämen sie vom ersten Hauptbrennpunkte her. Für alle Lagen des Objectes zwischen unendlicher Entfernung und der doppelten Brennweite liegt das Bild zwischen vorderem Hauptbrennpunkte und einem Punkte, welcher zwei Drittel der Brennweite von der Linse entfernt ist. Liegt das Object zwischen doppelter und einfacher Brennweite, so rückt das Bild von der letzten Stellung in die halbe Brennweite. Für die Lagen des Objectes zwischen vorderem Hauptbrennpunkte und vorderer Linsenfläche liegt das Bild zwischen halber Brennweite und der vorderen Linsenfläche. Ist die Objectsdistanz virtuell, so wird, während das Object von der negativen Unendlichkeit bis zur hinteren doppelten Brennweite rückt, das Bild von der einfachen vorderen Brennweite in die doppelte rücken.

Fig. 5.



Für alle Lagen der negativen Objectsdistanz zwischen hinterer, doppelter und einfacher Brennweite rückt das Bild von der vorderen doppelten Brennweite in die positive unendliche Entfernung.

Durchläuft das Object den Weg zwischen der hinteren ganzen bis zur halben Brennweite, so liegt das reell gewordene Bild zwischen negativer unendlicher Entfernung und dem hinteren Brennpunkte. Durchmisst endlich die negative Objectsdistanz den Raum zwischen hinterer halber Brennweite bis zur hinteren Linsenfläche, so rückt das Bild vom hinteren Hauptbrennpunkte bis zur hinteren Linsenfläche vor.

In Bezug auf die Bildgrösse lässt sich durch Discussion der Gleichung d) Folgendes feststellen:

1. Bei Biconvexgläsern. Steht das Object in unendlicher positiver Entfernung, dann ist das Bild unendlich klein, d. i. ein leuchtender Punkt. Ist ersteres zwischen der Unendlichkeit und der doppelten Brennweite gelegen, dann wächst das Bild immer mehr, bis es dem Objecte an Grösse gleichkommt. Rückt das Object aus der doppelten Brennweite bis in den Brennpunkt, so wird das Object immer grösser, bis es endlich in unendlicher Entfernung unendlich gross wird. Bisher waren alle Bilder reelle und umgekehrte und lagen auf der anderen Seite der Linse; rückt aber das Bild in die Brennweite, dann wird es virtuell und aufrecht und liegt auf derselben Seite wie das Object. Während also das Object vom Brennpunkte bis an die Linse heranrückt, wird das Bild von unendlicher Grösse immer kleiner, bis es dem Objecte gleich wird. Wird die Objectsdistanz negativ, d. h. fallen convergente Strahlen auf die Linsenfläche, so entstehen reelle, aufrechte Bilder auf der anderen Seite der Linse, welche, während das Object von der hinteren Linsenfläche bis zur negativen unendlichen Entfernung fortrückt, alle Werthe von 1 bis 0 einnehmen.

2. Bei Concavgläsern. Befindet sich das Object in unendlicher Entfernung, so ist das virtuelle Bild ebenfalls unendlich klein.

Während das Object von unendlich bis in die vordere Brennweite rückt, wird das virtuelle Bild grösser, und zwar von 0 bis zur halben Grösse des Objectes.

Wandert das Object vom vorderen Brennpunkte bis zur Linsenfläche, so steigt die Grösse des Bildes von $\frac{1}{2}$ auf 1.

Wird die Objectsdistanz negativ, d. h. rückt das Object von der hinteren Linsenfläche bis in die halbe hintere Brennweite, so entsteht ein reelles aufrechtes Bild, welches von der einfachen bis zur doppelten Grösse des Objectes fortschreitet.

Wandert das Object von der halben hinteren Brennweite bis in den Brennpunkt, so steigt die Grösse des Objectes allmälig von 2 bis ∞.

Wird die Objectsdistanz in negativem Sinne grösser, so wird das Bild wieder virtuell, und zwar, während das Object von der einfachen in die doppelte Brennweite tritt, wird das Bild von ∞ gross zur Grösse 1 herabsinken.

Und während das Object seinen negativen Weg von der doppelten hinteren Brennweite bis in die negative ∞ Ferne macht, sinkt die Grösse des virtuellen Bildes von 1 bis 0 herab.

§ 3. Nachdem nun einerseits sowohl die Refractionszustände, als auch der Werth der jeweiligen Accommodationsspannung durch Brechwerthe von Linsen bezeichnet werden, andererseits solche Glaslinsen als Brillen zur Correction von Refractions- und Accommodationsanomalien dienen, ist es nothwendig, die Systeme kennen zu lernen, nach welchen die Brillenreihen, deren wir uns bedienen, geordnet werden. Diese Ordnung bezeichnet man als Brillennumerotage.

Bei der früher üblichen Numerotage der Brillengläser wurde als Einheit des Brechwerthes eine Glaslinse von 1″ Brennweite aufgestellt. Da wir aber nur Brillen von geringerem Brechwerthe verwenden, so

ist es selbstverständlich, dass die Bezeichnung der Brechwerthe nur durch Brüche geschehen konnte. Es ist klar, dass

eine Linse v. 2″ Brennweite nur $^1/_2$ d. Brechwerthes einer einzöll. Linse hat,
„ „ „ 3″ „ „ $^1/_3$ „ „ „ „ „ „
„ „ „ 4″ „ „ $^1/_4$ „ „ „ „ „ „

und so fort; hierbei haben wir den Vortheil, dass nebst dem Brechwerthe im Nenner des Bruches gleichzeitig die Brennweite des Glases angegeben ist, so dass wir, wenn wir von einer Linse $^1/_{20}$ sprechen, nicht nur erfahren, dass dieses Glas 20mal schwächer sei als eine Linse von 1″ Brennweite, sondern auch dass unsere Linse 20″ Brennweite hat.

Dagegen haften dem alten Systeme Nachtheile an, welche eben dazu geführt haben, eine andere Einheit zur Grundlage des Systemes von Brillengläsern zu schaffen, das jetzt fast allgemein verbreitet ist.

Die hauptsächlichsten Nachtheile bestehen erstens darin, dass es unmöglich war, ein gleichmässiges Intervall der Brechwerthe zwischen je zwei benachbarten Gläsern durch das ganze System durchzuführen, und zweitens darin, dass bei Addition oder Subtraction von Brechwerthen die Rechnung in Brüchen vorgenommen werden muss, wodurch dieselbe zeitraubend wird. Man hat desshalb in neuerer Zeit eine andere, und zwar eine grosse Brennweite zur Grundlage einer Brillennumerotage gewählt, und zwar eine Linse von einem Meter Brennweite.

Da die meisten der gebräuchlichen Gläser eine geringere Brennweite und desshalb einen grösseren Brechwerth haben, als eine Linse von einem Meter Brennweite, so können die meisten Brechwerthe durch ganze Zahlen ausgedrückt werden, mit welchen die Rechnungsmanipulationen auch viel leichter vor sich gehen.

Man bezeichnet den Brechwerth einer Linse

von 1 m Brennweite als 1 Dioptrie oder Meterlinse,
„ $^1/_2$ „ „ „ 2 „ „ „
„ $^1/_3$ „ „ „ 3 „ „ „
„ $^1/_4$ „ „ „ 4 „ „ „ u. s. f.

Hieraus ergibt sich sogleich, dass die Brennweite durch die Bezeichnung des Glases nicht direct ersichtlich ist, sondern erst berechnet werden muss.

So hat eine Linse

von 1 Dioptrie 1 m . . Brennweite,
„ 2 „ $^1/_2$ „ = 50 cm „
„ 3 „ $^1/_3$ „ = 33 $^1/_3$ cm „
„ 4 „ $^1/_4$ „ = 25 cm „ u. s. f.

Ausser diesem Uebelstande haftet dem Metersysteme noch eine Reihe anderer an. So schätzenswerth es ist, ein Brillensystem mit gleichen Intervallen zwischen den einzelnen Gläsern zu besitzen, so zeigt doch das practische Bedürfniss, dass die Reihe der schwächeren Gläser in dem neuen Systeme eine kleinere geworden ist, als in dem alten, und doch haben wir gerade bei den schwächeren Brillennummern kleinere Intervalle zwischen den Gläsern nöthig, als bei den stärkeren. Dass in die Reihe der Meterlinsen solche von 0·75 D, 0·50 D und 0·25 D aufgenommen worden sind, genügt nicht vollständig dem Bedürfnisse, wesshalb in dieser Beziehung das alte System, wie wir aus einer Vergleichung der üblichen Brillenreihen später entnehmen werden, vor-

zuziehen ist. Ein weiterer Nachtheil, der gerade bei der Untersuchung der Refraction der Augen von Wichtigkeit ist, liegt in dem Umstande, dass häufig die Distanz zwischen dem Knotenpunkte des zu untersuchenden Auges und dem Glase mit diesem letzteren in Beziehung zu bringen ist. Wird z. B. nach dem alten Zollsysteme der Augenhintergrund mit einem Correctionsglase Concav $^1/_6$ am schärfsten gesehen, und befindet sich letzteres einen Zoll vom Knotenpunkte des Auges, so durfte der emmetropische Beobachter auf eine Myopie des beobachteten Auges $= \frac{1}{6+1} = \frac{1}{7}$ schliessen. In analoger Weise würden bei einem Correctionsglase von 6 D und einer Distanz zwischen Glas und Knotenpunkt von 2·5 cm diese letzteren nicht wie früher in Rechnung zu bringen sein, sondern folgende Berechnung erfordern: Die Brennweite eines Glases von 6 D ist gleich $16\,^2/_3$ cm, die Distanz von $2\,^1/_2$ cm hinzu addirt, gibt $19\,^1/_6$ cm; um nun schliesslich zu erfahren, wieviel Dioptrien Myopie das beobachtete Auge besitze, mussten wir $19\,^1/_6$ in 100 dividiren, wobei sich 5·21 D ergeben.

Jedenfalls eine langwierigere und weniger genaue Manipulation als die frühere.

Wenn wir uns ferner der Linsenformel $\frac{1}{f_{,}} + \frac{1}{f_{,,}} = \frac{1}{F}$ erinnern, so werden wir gleich sehen, dass wir da mit Brennweiten und nicht mit Dioptrien rechnen können, und dass desshalb unsere alte Bezeichnungsweise der Brillengläser eine bequemere Formel für die Berechnung gegeben hat. Wir werden uns desshalb bei der Bezeichnung und Berechnung der Refractionszustände des alten Zollsystemes bedienen und nur wo es wichtig erscheint, auch die Nummern des neuen Systemes daneben setzen.

Wir wollen jetzt die gebräuchlichen Brillennummern des alten Systemes und die des neuen mit einander vergleichen, wobei sich die früher erwähnten Nachtheile des letzteren leicht bemerkbar machen werden.

Altes System				Neues System	
Nr.	—	(100)	entspricht	0·25 D	—
„	80	—	„	0·50 D	—
„	60	—	„	—	($^2/_3$ D)
„	—	(53)	„	0·75 D	—
„	50	—	„	—	($^4/_5$ D)
„	40	—	„	1 D	—
„	36	—	„	—	($1\,^1/_9$ D)
„	30	—	„	—	($1\,^1/_3$ D)
„	—	($26\,^2/_3$)	„	1·5 D	—
„	24	—	„	—	($1\,^2/_3$ D)
„	20	—	„	2 D	—
„	18	—	„	—	($2\,^2/_9$ D)
„	16	—	„	2·5 D	—
„	15	—	„	—	($2\,^2/_3$ D)
„	14	—	„	—	($2\,^6/_7$ D)
„	13	—	„	3 D	—
„	12	—	„	—	($3\,^1/_3$ D)

	Altes System			Neues System	
Nr.	—	$(11\frac{3}{7})$	entspricht	3·5 D	—
„	11	—	„	—	$(3\frac{7}{11}$ D)
„	10	—	„	4 D	—
„	9	—	„	—	$(4\frac{2}{3}$ D)
„	—	$(8\frac{8}{9})$	„	4·5 D	—
„	8	—	„	5 D	—
„	—	$(7\frac{3}{11})$	„	5·5 D	—
„	7	—	„	—	$(5\frac{8}{9}$ D)
„	$6\frac{1}{2}$	—	„	6 D	—
„	6	—	„	6·5 D	—
„	—	$(5\frac{5}{7})$	„	7 D	—
„	$5\frac{1}{2}$	—	„	—	$(7\frac{7}{11}$ D)
„	—	$(5\frac{1}{3})$	„	7·5 D	—
„	5	—	„	8 D	—
„	—	$(4\frac{12}{17})$	„	8·5 D	—
„	$4\frac{1}{2}$	—	„	9 D	—
„	—	$(4\frac{4}{19})$	„	9·5 D	—
„	4	—	„	10 D	—
„	—	$(3\frac{17}{21})$	„	10·5 D	—
„	$3\frac{1}{2}$	—	„	—	$(11\frac{3}{7}$ D)
„	—	$(3\frac{7}{11})$	„	11 D	—
„	—	$(3\frac{11}{23})$	„	11·5 D	—
„	—	$(3\frac{1}{3})$	„	12 D	—
„	—	$(3\frac{1}{5})$	„	12·5 D	—
„	3	—	„	13 D	—
„	—	$(2\frac{26}{27})$	„	13·5 D	—
„	—	$(2\frac{6}{7})$	„	14 D	—
„	—	$(2\frac{22}{29})$	„	14·5 D	—
„	$2\frac{3}{4}$	—	„	—	$(14\frac{6}{11}$ D)
„	—	$(2\frac{2}{3})$	„	15 D	—
„	—	$(2\frac{18}{35})$	„	15·5 D	—
„	$2\frac{1}{2}$	—	„	16 D	—
„	—	$(2\frac{14}{33})$	„	16·5 D	—
„	—	$(2\frac{6}{17})$	„	17 D	—
„	—	$(2\frac{2}{7})$	„	17·5 D	—
„	$2\frac{1}{4}$	—	„	—	$(17\frac{7}{9}$ D)
„	—	$(2\frac{2}{9})$	„	18 D	—
„	—	$(2\frac{6}{37})$	„	18·5 D	—
„	—	$(2\frac{2}{19})$	„	19 D	—
„	—	$(2\frac{2}{39})$	„	19·5 D	—
„	2	—	„	20 D	—

In dieser Tabelle sind die nicht gebräuchlichen Nummern beider Systeme in Klammern und zur Seite gesetzt worden.

Aus dieser Tabelle ist sogleich zu ersehen, dass das alte System an schwächeren Brillennummern, das neue an stärkeren Gläsern reicher ist. Es ist eben, wie schon erwähnt, bei der Refractionsuntersuchung von grösserer Wichtigkeit, eine grössere Reihe schwacher als starker Brillen zu besitzen.

§ 4. Für unsere Zwecke, namentlich wo es sich um die Beleuchtung des Augenhintergrundes handeln wird, ist es auch wichtig, die Gesetze der Reflexion an ebenen und sphärisch gekrümmten Spiegeln kennen zu lernen.

Hierbei müssen wir uns der Gleichung a) erinnern:

$$\frac{n_{,}}{f_{,}} + \frac{n_{,,}}{f_{,,}} = \frac{n_{,,} - n_{,}}{r}.$$

Da bei der Reflexion der Gang der Strahlen ein zur Brechung umgekehrter ist, so muss in jener Gleichung $n_{,,} = - n_{,}$ gesetzt werden. In Folge dessen verändert sich die Gleichung a) in

$$\frac{1}{f_{,}} - \frac{1}{f_{,,}} = - \frac{2}{r} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad f)$$

Aus dieser lässt sich mit Leichtigkeit die Lage des Spiegelbildes berechnen:

1. Bei Convexspiegeln. Ist $f_{,} = \infty$, so wird aus der Gleichung f) entstehen $-\frac{1}{f_{,,}} = -\frac{2}{r}$, woraus $f_{,,} = \frac{r}{2}$ folgt, mit Worten, das Bild liegt hinter dem Spiegel in der Entfernung des halben Krümmungshalbmessers. Verbinden wir uns den Krümmungsmittelpunkt mit dem Mittelpunkte des Spiegels durch eine Linie, so stellt dieselbe die Axe des Convexspiegels dar.

Sind die aus der positiven unendlichen Ferne kommenden Strahlen mit der Axe parallel, so liegt ihr Vereinigungspunkt in der Mitte des Krümmungshalbmessers auf der Axe und hinter dem Spiegel und wird Hauptbrennpunkt des Spiegels genannt. Gibt man $f_{,}$ alle möglichen positiven Werthe von ∞ bis 0, d. h. liegt der objective Lichtpunkt in allen möglichen Entfernungen von der unendlichen Ferne bis zur Spiegelfläche, so rückt das Bild aus dem Hauptbrennpunkte immer näher an die Spiegelfläche heran, bis der leuchtende Punkt und sein Bild in der letzteren zusammenfallen, d. i. das Bild ist in allen diesen Fällen ein virtuelles, d. h. die Strahlen, die vom Spiegel reflectiren, sind divergent, und zwar so, als wenn sie von einem hinter dem Spiegel befindlichen Punkte herrührten.

Wird $f_{,}$ negativ, d. i. fallen die Strahlen convergent auf den Convexspiegel, und zwar so, dass ihr Vereinigungspunkt zwischen Spiegelfläche und Hauptbrennpunkt liegt, dann entsteht das Bild vor demselben, und zwar um so weiter, je mehr sich der Vereinigungspunkt der Strahlen dem Hauptbrennpunkte nähert. Liegt z. B. der Vereinigungspunkt der Strahlen in der halben Brennweite, d. i. wird $f_{,} = \frac{r}{4}$, dann wird $f_{,,} = -\frac{r}{2}$, d. h. der Lichtpunkt liegt vor dem Spiegel, und zwar in einer Entfernung des halben Krümmungshalbmessers. Fällt endlich der Lichtpunkt mit dem Hauptbrennpunkte zusammen, so werden die Strahlen von dem Spiegel parallel zurückgeworfen.

Liegt die negative Entfernung der auffallenden Strahlen zwischen $\frac{r}{2}$ und dem Krümmungsmittelpunkte, so liegt das Bild hinter dem

Spiegel, und zwar von der negativen unendlichen Entfernung angefangen, in allen endlichen Entfernungen bis an den Krümmungsmittelpunkt, und diesem um so näher, je mehr sich der Lichtpunkt demselben nähert. Liegt dieser im Krümmungsmittelpunkte, so liegt auch sein Bild daselbst, was sich allsogleich aus unserer Gleichung ergibt, wenn wir $f_{,} = -r$ setzen, indem dann $f_{,,}$ auch r wird.

Lassen wir den Vereinigungspunkt der convergent auf den Spiegel fallenden Strahlen vom Krümmungsmittelpunkte bis in die negative unendliche Entfernung (hinter dem Spiegel) wandern, so rückt der Bildpunkt vom Krümmungsmittelpunkte bis in den Hauptbrennpunkt, das Bild ist wieder virtuell geworden, die austretenden Strahlen sind divergent.

Alle diese Verhältnisse, sowie die kommenden lassen sich aus einfacher Discussion der Gleichung f) ableiten.

2. Bei Concavspiegeln. Bei diesen muss, da wir bei Convexspiegeln r positiv genommen haben, r negativ werden, und da in den meisten Fällen $f_{,,}$ vor dem Spiegel liegt, auch diese Entfernung negativ bezeichnet werden. Weil jedoch dabei ein reelles, vor dem Spiegel liegendes Bild erzeugt wird, so zieht man es vor, $f_{,,}$ mit umgekehrten Zeichen zu versehen, und so verändert sich Gleichung f) in

$$\frac{1}{f_{,}} + \frac{1}{f_{,,}} = \frac{2}{r} \qquad \ldots\ldots\ldots \qquad f_{,})$$

Ist nun $f_{,} = \infty$, so wird aus Gleichung $f_{,})$:

$$\frac{1}{f_{,,}} = \frac{2}{r} \text{ und } f_{,,} = \frac{r}{2},$$

d. i. fallen die Strahlen von einem unendlich entfernten Lichtpunkte auf den Concavspiegel, so werden sie in der Entfernung des halben Radius vor dem Spiegel auf der Axe zur Vereinigung kommen, und wird desshalb dieser Punkt als Hauptbrennpunkt bezeichnet.

Nimmt der Lichtpunkt allmälig alle möglichen Entfernungen zwischen unendlich und dem Krümmungsmittelpunkte ein, so rückt das Bild nach und nach vom Hauptbrennpunkte bis zum Krümmungsmittelpunkte vor.

Ist $f_{,} = r$, so wird $f_{,,}$ ebenfalls $= r$, d. h. befindet sich der Lichtpunkt im Krümmungsmittelpunkte, dann liegt sein Bild eben dort. Liegt der Lichtpunkt zwischen dem letzteren und dem Brennpunkte, so entsteht das Bild zwischen dem Krümmungsmittelpunkte und der unendlichen Entfernung und um so näher der letzteren, als sich der leuchtende Punkt dem Brennpunkte nähert.

Rückt endlich der leuchtende Punkt aus dem Brennpunkte heraus gegen die spiegelnde Fläche, so wird $f_{,,}$ negativ, d. h. in diesem Falle liegt der Vereinigungspunkt der Lichtstrahlen hinter dem Spiegel, und zwar von der negativen unendlichen Entfernung bis zur Spiegelfläche und um so näher an diese, je näher der leuchtende Punkt der Spiegelfläche liegt. Das Bild ist ein virtuelles, die Strahlen verlassen in

divergenter Richtung den Spiegel. Ist der leuchtende Punkt an der Spiegelfläche angelangt, so hat auch sein Bild die Spiegelfläche erreicht.

Fallen endlich convergente Strahlen auf den Spiegel, ist der Vereinigungspunkt der Strahlen ein virtueller, hinter dem Spiegel liegender, dann wird $f_{,,}$ wieder positiv und schreitet, während ersterer von — 0 bis — ∞ vom Spiegel abrückt, von der Spiegelfläche allmälig bis zum Hauptbrennpunkte vor.

In Betreff der Bildgrösse ergibt die Rechnung:

1. Bei Convexspiegeln. Liegt das Object in unendlicher Entfernung, dann ist das Bild unendlich klein. Während das Object von der unendlichen Entfernung bis an die Spiegelfläche heranrückt, wird das Object von 0 bis 1 an Grösse wachsen. In der Spiegelfläche sind Object und Bild einander gleich.

Fallen die Strahlen convergent auf den Spiegel, und zwar derart, dass das virtuelle Object von der Spiegelfläche bis in den Brennpunkt wandert, so wird das Bild reell vor dem Spiegel entworfen, ist ein aufrechtes und steigt von der Grösse 1 bis ∞. Während das Object vom Brennpunkte bis in den Krümmungsmittelpunkt vorrückt, wird das Bild wieder virtuell und fällt in seiner Grösse von ∞ bis auf 1. Wandert nun das Object vom Krümmungsmittelpunkte bis in die negative unendliche Entfernung, dann wird das virtuelle Bild immer kleiner, bis es endlich Null, das ist ein leuchtender Punkt, wird.

2. Bei Concavspiegeln. Steht das Object in unendlicher Entfernung, dann ist das Bild unendlich klein. Rückt das Object bis in den Krümmungsmittelpunkt, so entstehen umgekehrte Bilder, welche von 0 bis 1 wachsen. Schreitet das Object bis zum Brennpunkte vor, so wachsen die umgekehrten Bilder von 1 bis ∞. Geht das Object weiter vorwärts bis an die Spiegelfläche, so entstehen aufrechte und virtuelle Bilder, welche von ∞ bis 1 an Grösse abnehmen.

Fallen convergente Strahlen auf den Spiegel, so entstehen reelle, aufrechte Bilder vor der Spiegelfläche, welche, während das Object von der Spiegelfläche bis in die negative unendliche Entfernung rückt, in ihrer Grösse von 1 bis 0 abnehmen.

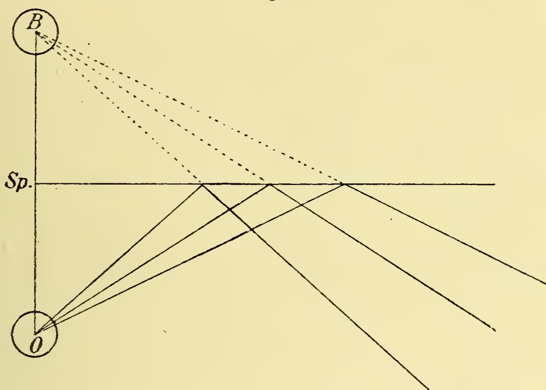
Ist das Object in der unendlichen Entfernung angekommen, so ist das Bild wieder ein leuchtender Punkt geworden.

Lage und Grösse der Bilder bei Planspiegeln. Bei diesen wird in der Gleichung f) $r = \infty$, weil man sich den Planspiegel als Kugelfläche von unendlich grossem Radius vorstellen kann, und jene Gleichung geht in die Form $\frac{1}{f_{,}} = \frac{1}{f_{,,}}$ über, welche bedeutet, dass $f_{,,}$, d. i. der Bildpunkt, ebenso weit hinter dem Spiegel liegt als $f_{,}$ vor demselben.

Ist der leuchtende Punkt so gelegen, dass die Mitte des Strahlenkegels, den er entsendet, nicht vertical, sondern unter einem Winkel auf die Spiegelfläche fällt, so müssen wir die Projection des leuchtenden Punktes auf die Spiegelfläche ziehen, in deren Verlängerung hinter dem

Spiegel und in der Entfernung, in welcher er selbst vom Spiegel liegt, das Bild des Lichtpunktes zu finden ist (siehe Fig. 6).

Fig. 6.



Die Bildgrösse ergibt sich ebenfalls aus Gleichung d):

$$\frac{\beta_{,}}{\beta_{,,}} = -\frac{l_{,}}{F_{,}}.$$

Setzen wir in dieser Gleichung $l_{,} = f_{,} - F_{,}$, so verändert sich ihre Form in

$$\frac{\beta_{,}}{\beta_{,,}} = -\left(\frac{f_{,}}{F_{,}} - 1\right).$$

Da Planspiegel als ein reflectirendes System betrachtet werden können, dessen Brennweite unendlich gross ist, so erhalten wir aus der Gleichung

$$\frac{\beta_{,}}{\beta_{,,}} = -\left(\frac{f_{,}}{\infty} - 1\right) = 1,$$

woraus ersichtlich ist, dass das Bild ebenso gross ist, als das Object.

§ 5. Will man die früher angeführten Brechungsgesetze auf das menschliche Auge anwenden, um die Lage und Grösse der Netzhautbilder von Objecten der Aussenwelt zu berechnen, so muss man nicht nur die Lage der Cardinalpunkte im Auge, sondern noch eine Reihe anderer Verhältnisse, welche nicht unmittelbar mit der Brechkraft des Auges zusammenhängen, kennen lernen.

Wenn auch für den Bau des menschlichen Auges der Vergleich mit der Einrichtung einer Camera obscura im Allgemeinen zutrifft, so unterscheidet sich ersterer von letzterer in verschiedenen, nicht unwesentlichen Punkten.

Vor Allem ist bei dem Auge im Gegensatze zu der Camera obscura der Brechungsindex des ersten und letzten Mittels ungleich. Während die Einstellung bei letzterer durch Aus- oder Einschieben des optischen Systemes hergestellt wird, wird die Accommodation im Auge durch Veränderungen in der Krümmung zweier brechender Flächen erreicht.

Die Blendung ist keine stabile, sondern eine veränderliche und gestattet bald einem breiteren, bald einem schmäleren Strahlenkegel den Durchtritt.

Endlich ist auch der Schirm, welcher das Bild auffängt, in den verschiedenen Augen in verschiedenen Entfernungen vom optischen Systeme angebracht.

Aber auch die Krümmungen der verschiedenen Flächen des Auges weichen von der Kugelgestalt mehr oder weniger ab.

Die Vorderfläche der Hornhaut hat die Form eines Rotationsellipsoides um die längere Axe, deren vorderes Ende ungefähr mit der Mitte der Hornhaut zusammenfällt.

Ihr Krümmungsradius beträgt (wenigstens im horizontalen Meridian) annähernd 8 mm.

Die Linse, deren vordere Fläche ein Stück eines abgeplatteten Rotationsellipsoides, die hintere eines Rotationsparaboloides nach Krause bilden soll, hat im schematischen Auge an ihrer Vorderfläche einen Krümmungshalbmesser von 10 mm, an ihrer hinteren von 6 mm. Die Brennweiten der Hornhaut sind, da diese vorn von Luft, hinten von Kammerwasser umgeben ist, verschieden gross, und zwar beträgt in Listing's schematischem Auge die vordere Brennweite 23·7 mm, die hintere 31·7 mm.

Die Brennweite der Linse beträgt nach diesem Schema 43·7 mm. Wir werden später sehen, dass diese Brennweite zu klein und desshalb die Länge des normalsichtigen Auges zu kurz angenommen worden ist. Die Lage der Linse im schematischen Auge wird derart angenommen, dass ihre vordere Fläche 4 mm von der vorderen Fläche der Hornhaut entfernt ist.

Die Lage der Cardinalpunkte im menschlichen Auge berechnete Listing folgendermassen:

Die vordere Brennweite beträgt 15·0072 (rund 15 mm), die hintere Brennweite 20·0746 (rund 20 mm).

Der erste Hauptpunkt liegt 2·1746 mm, der zweite 2·5724 mm hinter der vorderen Fläche der Hornhaut im Kammerwasser.

Der erste Knotenpunkt liegt 0·758, der zweite 0·36 mm vor der Hinterfläche der Linse. Der Brechwerth des gesammten mittleren Auges beträgt ungefähr $^{20}/_{15}$.

Listing hat ferner sein Schema noch weiter vereinfacht, indem er die im schematischen Auge sehr nahe liegenden beiden Hauptpunkte, sowie die beiden Knotenpunkte in je einen Punkt verschmelzen liess, von welchen der vereinigte Hauptpunkt 2·3448 mm hinter der Vorderfläche der Hornhaut und der vereinigte Knotenpunkt 0·4764 mm vor der hinteren Fläche der Linse zu liegen kommt.

Helmholtz hat diesem reducirten Auge eine noch einfachere Form gegeben, indem er lehrte, dass eine brechende Kugelfläche, deren Krümmungshalbmesser 5·1248 mm beträgt, deren vereinigter Hauptpunkt in der vorderen Fläche, deren Knotenpunkt im Mittelpunkte derselben sich befindet, und die vorne von Luft, hinten von wässriger Feuchtigkeit oder Glaskörper begrenzt ist, dieselbe Wirkung hervorbringt, wie das reducirte Auge.

Die Länge der Augenaxe eines normalsichtigen Auges wurde im schematischen Auge mit 22·231 mm berechnet. Die Erscheinungen am aphakischen (linsenlosen) Auge widersprechen jedoch dieser Annahme

insofern, als die durch die Entfernung der Linse entstehende Hyperopie geringer ist, als sie bei dem Verluste einer Linse von 43·7 mm Brennweite sein müsste.

Hieraus ergibt sich, dass im schematischen Auge der Krümmungshalbmesser der Hornhaut zu gross oder die Brennweite der Linse zu kurz oder endlich die Axenlänge des normalsichtigen Auges zu kurz angenommen wurde, wiewohl es auch möglich ist, dass bei allen drei berechneten Grössen Irrthümer sich eingestellt haben.

Aus dem Linsenwerthe der Gläser, welche zur Correction der Aphakie in solchen Augen gedient haben, die vor dem Linsenverluste wahrscheinlich normalsichtig waren, lässt sich die Axenlänge eines mittleren Auges berechnen und wurde diese Länge auf 23·8 bis 24 mm angegeben.

§ 6. Wir haben oben gesehen, dass für jedes optische System aus den Formeln d) und $d_{,}$) die Grösse des Bildes leicht berechnet werden kann unter der Voraussetzung, dass die vordere oder hintere Brennweite des Systems bekannt ist. Es erscheint aber auch wichtig, die Bildgrösse von Objecten bei Combination zweier optischen Systeme zu kennen, was zur Voraussetzung hat, dass die Brennweiten des combinirten Systemes berechnet werden können. Die hierbei anzustellende Rechnung ist eine bis zu einem gewissen Grade complicirte, und genügt es, wenn ich einige von mir formulirte Sätze hier folgen lasse.

1. Wenn in einem combinirten optischen Systeme das Object im ersten Brennpunkte des ersten Systemes steht, so sind die Bilder in allen Distanzen der beiden Systeme einander gleich, und das Bild ist umgekehrt.

2. Wenn die Distanz der beiden Systeme gleich ist der Summe der vorderen Brennweite des zweiten und der hinteren Brennweite des ersten Systemes, so entsteht ein umgekehrtes Bild, das für alle Entfernungen des Objectes vom ersten Systeme, also auch wenn ersteres im Brennpunkte des letzteren steht, gleich ist.

3. Wenn ein Object innerhalb der Brennweite des ersten Systemes steht, so wird das erzeugte umgekehrte Bild immer kleiner, je grösser die Distanz beider Systeme wird.

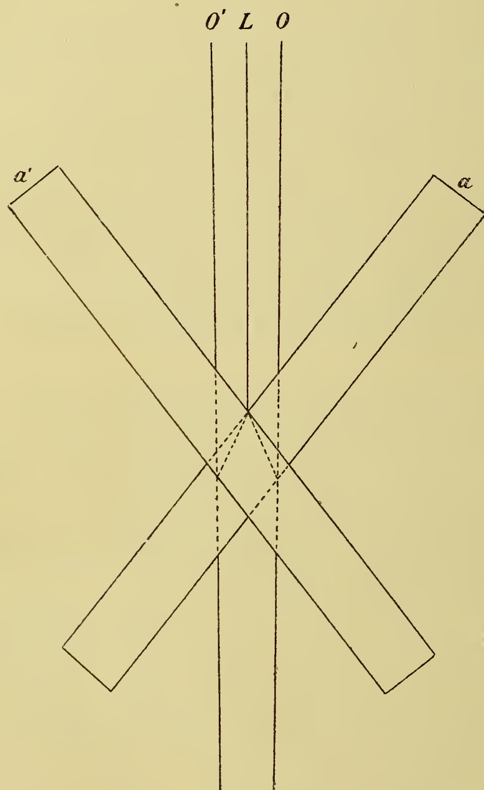
4. Wenn das Object innerhalb der Brennweite des ersten Systemes steht, so wird das Bild für den Fall, dass die Distanz der Systeme kleiner ist, als die erste Brennweite des zweiten oder die zweite Brennweite des ersten oder die Summe beider Brennweiten, ein umgekehrtes, reelles sein, welches um so grösser wird, je näher das Object an das erste System heranrückt.

§ 7. Da die Hornhaut nach vorn gekrümmt und ihre Oberfläche glatt ist, so verhält sie sich wie ein Convexspiegel von kleinem Radius, sie entwirft desshalb von den Objecten der Aussenwelt aufrechte und verkleinerte Bilder, welche immer kleiner werden, je weiter das Object von der Hornhaut entfernt ist. Diese Eigenschaft der Hornhaut wurde als Grundlage der Berechnung für verschiedene Verhältnisse im Auge benützt. Ihre wichtigste Anwendung fand sie im Ophthalmometer von Helmholtz, welcher dazu benutzt wird, um den Krümmungshalbmesser der Hornhaut, und wie wir später sehen werden, auch der vorderen und hinteren Linsenfläche, die ebenfalls spiegelnde Flächen sind, zu berechnen.

Das Ophthalmometer besteht der Hauptsache nach aus zwei plan-parallelen Glasplatten, welche derart über einander gestellt sind, dass sie sich, wenn beide in eine Ebene fallen, mit ihren schmalen Rändern berühren und gleichzeitig um eine verticale Axe, die in ihrer Mitte gedacht werden muss, derart gedreht werden können, dass man ihnen alle möglichen Stellungen gegen einander geben kann.

Hinter dem Kasten, welcher die Platten einschliesst, ist ein Fernrohr, zum Sehen auf kurze Distanzen eingerichtet, so angebracht, dass dessen horizontaler Durchmesser mit der Berührungsebene der Platten zusammenfällt. Als Object dienen drei geschlossene Lampen, die nur auf der dem beobachteten Auge zugekehrten Seite eine Oeffnung haben.

Fig. 7.



Die Wirkung dieses Instrumentes ist in folgender Weise zu erklären:

Plan-parallele Platten brechen das Licht eines leuchtenden Punktes, welches schief auf dieselben fällt, derartig, dass das Bild desselben gegen den leuchtenden Punkt verschoben erscheint. Diese Verschiebung erfolgt, wenn die Strahlen von rechts einfielen, auch nach rechts hin und so fort.

Haben wir in Fig. 7 die beiden Platten des Ophthalmometers unter einem Winkel gegen einander verschoben, und wird durch die-

selben der Lichtpunkt L betrachtet, so erscheint derselbe durch die Platte a nach o, durch die Platte a_1 nach o_1 verschoben, in Folge dessen wir ein Doppelbild des Lichtpunktes erhalten. Die Distanz dieses Doppelbildes lässt sich aus dem Winkel, um welchen die Platten gedreht wurden (welcher auf einer Gradeintheilung abzulesen ist), aus dem Einfallswinkel des Lichtstrahles L und dem Brechungsindex der Glasplatten berechnen. Kennt man die Distanz des Doppelbildes β, und ist dieses gegen den zu berechnenden Radius verschwindend klein, was bei grösserer Entfernung des Instrumentes vom zu messenden Auge der Fall ist, so verhält sich die Grösse des Objectes zur Entfernung desselben von der spiegelnden Fläche, wie das Bildchen zum halben Krümmungshalbmesser.

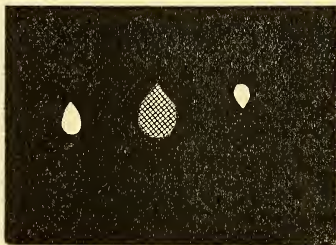
Nennen wir die Grösse des Objectes b, die Entfernung zwischen ihm und der Cornea a, das Doppelspiegelbildchen β, so erhalten wir folgende Proportion:

$$b : a = \beta : \frac{r}{2}, \text{ woraus sich ergiebt } r = \frac{2a \cdot \beta}{b}.$$

Da nun a, β und b bekannt sind, so ist auch r zu finden.

§ 8. Im Jahre 1832 hat Purkyně an der Vorder- und Hinterfläche der Linse Reflexbilder entdeckt, und Sanson (1837) hat diese Bilder für die Diagnose von Erkrankungen der Linse benutzt.

Fig. 8.



Wenn man eine Lichtflamme derart vor das Auge stellt, dass sie einen Winkel mit der Augenaxe bildet, sodann von der anderen Seite etwa unter demselben Winkel in das Auge sieht und sein eigenes Auge durch einen Schirm gegen die Lichtflamme schützt, dann bemerkt man nebst dem Hornhautreflexe noch zwei andere, viel schwächere Reflexe. Zunächst dem Hornhautreflexe auf der Seite des Beobachters sieht man einen grösseren, aufrechten und sehr verwaschenen Reflex, weiterhin nach derselben Seite einen viel kleineren, schärferen und umgekehrten (siehe Fig. 8).

Der erstere gehört der vorderen Linsenfläche, der zweite der hinteren an. Dass der vordere Linsenreflex grösser sein muss, als der der Hornhaut, ergiebt sich theils daraus, dass schwächer gekrümmte Convexspiegel grössere Bilder entwerfen, als stärker gekrümmte, theils aus dem Umstande, dass das vor der Linse liegende, stark brechende und von der Hornhaut begrenzte Kammerwasser eine Vergrösserung des Bildes hervorrufen muss.

Das hintere Linsenbild ist desshalb ein umgekehrtes, weil die Strahlen, welche die concave hintere Linsenfläche treffen, durch die brechenden Medien des Auges convergent gemacht, auf sie auffallen, und Concavspiegel, welche von convergenten Strahlen getroffen werden, ein umgekehrtes Bildchen geben.

Verkleinert erscheint es, weil die Convergenz der auffallenden Strahlen eine relativ geringe ist und weil das Spiegelungsgesetz erfordert, dass die Grösse dieses umgekehrten Bildchens um so geringer

wird, je mehr sich die Convergenz der Strahlen dem Parallelismus nähert.

Die Spiegelbildchen der Linsenflächen können noch auf andere Weise von einander unterschieden werden. Hornhautreflex und vorderer Linsenreflex machen nämlich bei Bewegungen des Auges Verschiebungen in umgekehrter Richtung, während der hintere Linsenreflex im gleichen Sinne wie das Auge sich bewegt.

Die Linsenreflexbilder haben, wie wir später sehen werden, eine grosse Bedeutung für die Lehre der Accommodation gefunden, können aber auch für die Diagnose von Erkrankungen des Linsensystemes in Verwendung kommen.

§ 9. Der Drehungsmittelpunkt des Auges wurde in verlässlichster Weise von Donders und Dojer bestimmt. Es fand sich, dass derselbe etwas hinter der Mitte des Augapfels in den Glaskörper zu liegen komme, und zwar im Mittel 10·957 mm hinter der Hornhautbasis oder 13·557 mm hinter dem Hornhautscheitel, während er etwa 10 mm von der hinteren Fläche der Sclerotica entfernt ist.

In myopischen Augen, welche nach hinten verlängert sind, zeigte sich eine etwas tiefere Lage des Drehpunktes, indem derselbe in maximo 13·26 mm hinter der Basis der Hornhaut oder 15·86 mm hinter den Scheitel derselben zu liegen kam. Hyperopische Augen sind dagegen nach hinten abgeflacht, und liegt daher der Drehpunkt etwas weiter nach vorne. Das Minimum dieser Entfernung von der Basis der Hornhaut betrug 9·71 mm oder 12·32 mm von deren Scheitel.

Donders hat diese Maasse aus Drehungen des Auges um je 28° nach aussen und nach innen in der Horizontalen gefunden, ob aber auch die Lage des Drehpunktes für andere Richtungen der Bewegung oder für stärkere Drehungen gültig ist, ist bis jetzt nicht untersucht worden.

§ 10. Wir haben früher gesehen, dass es in Convex- und Concavlinsen Strahlen gebe, welche durch das Centrum der Linse hindurchgehen und desshalb ungebrochen in derselben Richtung aus der Linse wieder austreten, und haben solche Strahlen Richtungsstrahlen genannt. Auch im menschlichen Auge können wir uns, wenn wir den kleinen Abstand der beiden Knotenpunkte vernachlässigen oder wie im reducirten Auge einen mittleren vereinigten Knotenpunkt annehmen, von dem Objecte durch den letzteren eine gerade Linie ziehen, die in ihrer Verlängerung die Netzhaut treffen muss. Wo diese die Netzhaut schneidet, dort liegt auch das Bild des objectiven Punktes. Solche Linien, welche Richtungslinien genannt werden, sind vor der Hornhaut und hinter der hinteren Linsenfläche mit dem Richtungsstrahl identisch, zwischen diesen beiden Punkten fällt der Richtungsstrahl nicht nothwendig mit der Richtungslinie zusammen.

Solche Richtungslinien können wir in jedem Auge unendlich viele ziehen. Eine derselben wird die Fovea centralis treffen, und diese wurde von Helmholtz die Gesichtslinie genannt.

Verbindet man den Scheitelpunkt der Hornhaut mit den Mittelpunkten der beiden Linsenflächen durch eine Gerade und verlängert dieselbe nach rückwärts, so trifft sie auf einen Punkt der Netzhaut, welcher etwa in der Mitte zwischen Sehnerven und Netzhautcentrum liegt. Diese Linie wird Augenaxe genannt.

Es ist klar, dass die Gesichtslinie mit der letzteren Linie nicht zusammenfällt, sondern einen Winkel mit derselben bilden muss; dieser Winkel liegt am vereinigten Knotenpunkte und wurde $\sphericalangle \alpha$ genannt. Dieser Winkel wurde von verschiedenen Forschern durch ophthalmometrische Untersuchungen zu messen versucht, indem man den Abstand eines auf dem Hornhautscheitel entworfenen Reflexbildchens bei verschiedenen Stellungen der Gesichtslinie bestimmte. Da aber bei den Drehungen des Auges der Scheitel des gemessenen Winkels nicht im Knotenpunkte, sondern im Drehcentrum des Auges lag, so hat man mit diesen Messungen diesen letzteren Winkel (γ, Mauthner) gefunden und nicht den am Knotenpunkte als Scheitel liegenden Winkel α.

Um aber $\sphericalangle \alpha$ aus γ zu finden, dazu fehlen uns die Behelfe. Zum Glücke ist die Differenz der beiden Winkel für practische Zwecke verschwindend klein, und wir dürfen die Angabe von Donders, dass die Gesichtslinie, welche im normalsichtigen Auge die Hornhaut an der Nasenseite ihres Scheitels schneidet, im Mittel einen Winkel von 5^0 mit der Hornhautaxe bildet, acceptiren.

Wie wir später sehen werden, ist dieser Winkel kein constanter und bei den verschiedenen Refractionsanomalien ein sehr verschiedener.

Für den Gesichtsausdruck ist die Grösse und die Lage dieses Winkels von grosser Wichtigkeit, indem von demselben scheinbare Convergenz und Divergenz der Augenaxen, ja sogar die scheinbare Ablenkung eines Auges abhängig ist.

§ 11. Will man erfahren, ob mehrere verschieden entfernte Punkte an derselben Stelle des Gesichtsfeldes liegen, so muss man visiren. Da man jedoch nur einen Punkt deutlich erkennen kann, so müssen die anderen in Zerstreuungskreisen erscheinen. Wenn sich nun der deutlich gesehene Punkt in der Mitte des Zerstreuungskreises befindet, oder mehrere Zerstreuungskreise auf einander fallen, so nehmen wir an, dass die dazu gehörigen Punkte einander decken. Denkt man sich alle diese Punkte, die einander decken, durch eine Linie mit einander verbunden, so heisst diese die Visirlinie. Diese Visirlinie zielt nach der Mitte des von der Hornhaut entworfenen Bildes der Pupille, und da alle möglichen Visirlinien durch diesen Punkt gehen, so wird derselbe Kreuzungspunkt der Visirlinien genannt.

Vergleichen wir zwei in verschiedener Entfernung liegende Objecte mit einander in Bezug darauf, ob sie die gleiche scheinbare Grösse haben, so müssen wir die Grenze beider Objecte durch Linien mit einander verbinden. Deckt sich je eine Grenze mit der anderen, so sind jene Linien Visirlinien, welche, wie wir gesehen haben, in der Mitte des Hornhautbildes der Pupille sich kreuzen. Je zwei gegenüberliegende dieser Visirlinien schliessen einen Winkel ein, welchen wir den eigentlichen Gesichtswinkel nennen müssen, weil wir nach ihm die scheinbare Grösse eines Objectes beurtheilen. Der Scheitel des Gesichtswinkels wird aber gewöhnlich in den vorderen Knotenpunkt verlegt. Suchen wir jedoch die scheinbare Grösse eines Objectes dadurch zu ergründen, dass wir die Gesichtslinie von dem einen Ende desselben zum anderen wandern lassen, so muss dieser Winkel ebenfalls Gesichtswinkel genannt werden, sein Scheitel aber liegt im Drehungscentrum des Auges.

§ 12. Die Sehschärfe des Auges hängt von der Grösse des Gesichtswinkels ab. Je kleiner der Gesichtswinkel ist, unter welchem Objecte noch erkannt werden, desto schärfer ist das Sehen.

Sowohl durch die Beobachtung, dass zwei Sterne noch als differente, leuchtende Punkte erkannt werden können, wenn deren Entfernung von einander unter einen Gesichtswinkel von 1 Minute erscheint, als auch durch verschiedene Experimente ist es erwiesen worden, dass der kleinste, für unser Auge Wahrnehmungen vermittelnde Gesichtswinkel ein solcher von circa 50 bis 60″ ist. Hiermit ist in guter Uebereinstimmung eine Berechnung des Winkels, unter welchem ein Netzhautelement, dessen Breite mikroskopisch gemessen worden ist, dem eigenen Auge erscheinen müsste, wenn es an der Basis der Hornhaut liegen würde. Diese Berechnung gibt ebenfalls als Resultat einen Winkel von 50 bis 55″. Es ist nämlich von selbst klar, dass zwei Lichteindrücke nur dann getrennt zum Bewusstsein kommen können, wenn sie auf zwei differente Netzhautelemente einwirken, und muss desshalb der Gesichtswinkel, den sie mit einander bilden, mindestens so gross sein, als der Gesichtswinkel eines Netzhautelementes. Um jedoch die Sehschärfe eines bestimmten Individuums zu messen, bedienen wir uns für practische Zwecke solcher Objecte, die einen grösseren Gesichtswinkel darbieten. Die zweckmässigsten Objecte sind Buchstaben, und werden daher sogenannte Schriftproben oder Probebuchstaben zur Bestimmung der Sehschärfe für oculistische Zwecke verwendet.

Snellen hat unter der Voraussetzung, dass ein Gesichtswinkel von 5 Minuten das Maass einer guten Sehschärfe abgebe, Probebuchstaben (Orthotypi) zusammengestellt, welche in einer bestimmten Entfernung unter einem solchen Gesichtswinkel erscheinen, und wenn sie genau erkannt werden, das Maass der Sehschärfe (S) = 1 abgeben. Die Entfernungen, in welchen die verschiedenen Reihen der Snellen-schen Tafeln erkannt werden müssen, und welche auf denselben in Metern angegeben erscheinen, sind in absteigender Reihe: LX, XXXVI, XXIV, XVIII, XII, IX, VI u. s. f. bis zu einem halben Meter. Die Reihen von LX bis VI werden als Wandtafeln zum Untersuchen der Sehschärfe für die Ferne verwendet. Es ist selbstverständlich, dass bei Verwendung der Nummer VI das Zimmer, in welchem die Untersuchung stattfindet, mindestens 6 m lang sein müsse.

Die Sehschärfe findet ihren Ausdruck in Zahlen, wenn wir die Entfernung, in welcher eine bestimmte Probe gelesen wird, als Zähler, die Nummern der Schriftprobe, d. i. die Entfernung, in welcher sie gelesen werden soll, als Nenner setzen. Wir werden z. B. von einer $S = \frac{6}{VI}, \frac{6}{XII}, \frac{6}{XVIII}$ u. s. w. sprechen, wenn wir Personen finden, welche auf 6 m Nummer VI, XII oder XVIII u. s. w. zu erkennen im Stande sind.

Es ist übrigens vortheilhafter, diese Bezeichnung der Sehschärfe zu wählen, als in unserem Falle S = 1, $1/2$, $1/3$ zu setzen.

Auf demselben Principe beruhen die von Mayerhausen edirten, für Analphabeten bestimmten Ziffertafeln (arabische Ziffern), sowie die für Personen, die auch nicht Ziffern kennen, bestimmten Punkttafeln von Burchardt und die Zeichentafeln von Snellen.

Die Jäger'schen Schriftproben beruhen auf einem anderen Principe, indem Buchstaben, deren kleinste 1/5 mm hoch sind, in fortlaufend steigender Grösse dem Auge dargeboten werden, und die Sehschärfenbestimmung dadurch geschieht, dass die Nummer der Schriftprobe, welche überhaupt noch wahrgenommen wird, anzugeben ist.

Da bei dieser Sehschärfeprobe weder auf die grösste Entfernung geachtet worden ist, in welcher die verschiedenen Nummern von einem sehscharfen Auge gelesen werden können, noch berücksichtigt worden ist, dass beim Sehen in der Nähe die Accommodation eine wichtige Rolle spiele, so sind dieselben zur Bestimmung der absoluten Sehschärfe wenig brauchbar, dagegen leisten sie vorzügliche Dienste, wenn es sich um Bestimmung von Anomalien der Accommodation handelt.

§ 13. Wenn Licht in unsere Augen fällt, so ist es unter gewissen Bedingungen möglich, dunkle Körper, welche sich in unserem Auge selbst befinden, wahrzunehmen; hierbei ist es eine Bedingung, dass das Licht möglichst von einem Punkte und nicht von einer Fläche ausgehe. Die Bilder der Gegenstände im Inneren des Auges werden durch die Schatten hervorgerufen, die sie auf die Netzhaut werfen. Geht das Licht von einem Punkte aus, so wird durch den dunkeln Körper ein Kernschatten gebildet, welcher gut wahrnehmbar ist. Ist die Leuchtquelle aber eine Fläche und gehen von ihr verschiedene Strahlenkegel aus, so werden von dem Gegenstande eine Reihe von Schatten entworfen, welche sich aber nicht decken, sondern sich mit dem Lichte der benachbarten Lichtkegel vermischen, wodurch ein verschwommener Halbschatten entsteht, der sich der Wahrnehmung entzieht.

Am allerbesten gelingt der entoptische Versuch, wenn man das Licht einer Lampenflamme durch eine Linse von kurzer Brennweite in einem Punkte sammelt und diesen Lichtpunkt in den vorderen Brennpunkt oder in die vordere Brennweite des Auges bringt, wobei es vortheilhaft ist, eine Metallplatte mit einer feinen centralen Oeffnung vor das Auge zu schieben.

Je nach der Entfernung der Lichtquelle vom Auge erscheint dann der Schatten grösser oder kleiner. Befindet sich die Lichtquelle innerhalb der vorderen Brennweite, dann treten die Strahlen derart divergirend ins Auge ein, dass sie durch dasselbe nur weniger divergent gemacht werden können. Steht aber der leuchtende Punkt im vorderen Brennpunkte des Auges, so werden die Strahlen parallel, steht er vor dem Brennpunkte, convergent die Netzhaut treffen. Es wird desshalb im ersten Falle der Schatten am grössten, im letzteren am kleinsten sein.

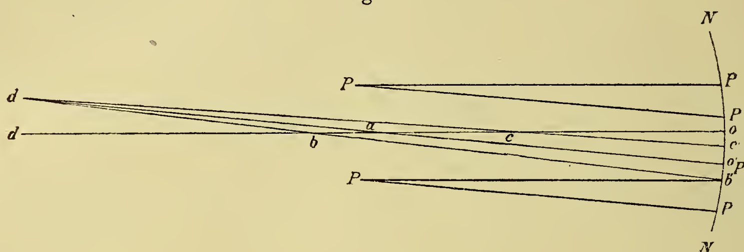
Befindet sich die Lichtquelle im vorderen Brennpunkte des Auges, so wird der Durchmesser des Schattens ebenso gross sein, als der des schattenwerfenden Körpers selbst.

Je nach der Lage der schattenwerfenden Körperchen zeigen dieselben ein verschiedenes Verhalten bei Verschiebungen der Lichtquelle oder des Blickpunktes.

Während Schatten der Körper, welche in der Ebene der Pupille sitzen, ihre relative Lage zu dieser nicht verändern, verschieben sich die Schatten der hinter und vor der Pupille liegenden Trübungen. Listing nennt diese Verschiebungen die entoptische Parallaxe. Er bezeichnet diese als positiv, wenn die Verschiebung in demselben Sinne, als negativ, wenn sie umgekehrt mit der Bewegung des Blickpunktes

stattfindet. Die hinter der Pupille liegenden Körperchen geben eine positive, die vor derselben gelegenen eine negative Parallaxe. (Bei Bewegung der Lichtquelle verhält sich die Parallaxe selbstverständlich im umgekehrten Sinne.) Fig. 9 soll dies erläutern. Ist d die Lichtquelle, und sind a, b und c kleine Trübungen, die in der Pupille vor und

Fig. 9.



hinter derselben liegen, so bilden sich im Netzhautcentrum c die Schatten aller dieser Punkte ab, die einander decken. Verschiebt sich d nach d,, so wird a in a,, b in b, und c in c, Schatten werfen. Während nun a auch bei dieser Stellung der Lichtquelle an derselben Stelle der Pupille erscheint, deckt sich mit b und b, der Punkt b,, und mit c und c, der Punkt c,, der Pupille.

Es wird desshalb der Schatten von b, da in umgekehrter Richtung nach aussen projicirt wird, in der Richtung von b,,, also gegen die Lichtquelle, verschoben erscheinen, während der Schatten von c in der Richtung c c,,, also nach der entgegengesetzten Seite verschoben erscheint.

Der Umstand, dass in der Pupille liegende, schattenwerfende Körper sowohl bei Bewegungen der Lichtquelle, als auch bei solchen des Blickpunktes ihre relative Lage für die Grenze des Gesichtsfeldes nicht zu verändern scheinen, könnte zu dem Missverständnisse Veranlassung geben, als bewegte sich das erleuchtete, von dem Pupillarrande begrenzte Gesichtsfeld nicht mit. Dem ist aber nicht so. Das erleuchtete Gesichtsfeld bewegt sich scheinbar im gleichen Sinne mit den Bewegungen der Lichtquelle und im umgekehrten mit den Verschiebungen des Blickpunktes.

Im entoptischen Bilde erscheinen die Schatten der Wimperhaare jedoch in umgekehrter Richtung, ferner kleine Luftblasen und Schleimklümpchen auf der Hornhaut. Ausserdem finden sich, von der Hornhaut herrührend, dunkle Flecke und Linien, welche wahrscheinlich Reste von Entzündungen und Verletzungen sind. In der Linse beschreibt Listing vier Formen von Trübungen: a) Perlflecken mit hellem Inhalt, b) dunkle Flecken, c) helle Streifen, meist einen unregelmässigen Stern mit wenig Ausläufern in der Mitte des Gesichtsfeldes darstellend, d) dunkle, radiale Streifen, welche wahrscheinlich Andeutungen des strahligen Baues der Linse sind. Im Glaskörper findet sich eine grosse Menge von theils beweglichen, theils sesshaften Trübungen, den sogenannten fliegenden Mücken (Mouches volantes), welche theils als Perlschnüre, theils als Gruppen feiner Kügelchen, theils als blasse Streifen erscheinen.

Da viele dieser Trübungen sehr nahe der Netzhaut sich befinden, so kann man sie auch wahrnehmen, wenn man den Blick einer hellerleuchteten Fläche, dem klaren Himmel z. B., zuwendet. Diese Schatten machen zuweilen selbständige Bewegungen, oder sie bewegen sich mit dem Auge, wodurch eine selbständige Bewegung derselben vorgetäuscht wird.

Wiewohl die Netzhautgefässe sehr nahe der empfindenden Netzhautschichte liegen, so werden deren Schatten unter gewöhnlichen Umständen dennoch nicht empfunden, weil die von ihnen beschatteten Netzhautstellen fast immer dieselben sind, und wir diesen beschatteten Zustand desshalb für den normalen halten.

Man kann aber unter gewissen Bedingungen den Gefässbaum der Netzhaut sehr deutlich wahrnehmen und beobachten. Purkyně, H. Müller und Helmholtz, welche diese Erscheinung studirt haben, gaben dreierlei Methoden an, dieselbe zur Wahrnehmung zu bringen.

1. Man concentrire die Spitze eines durch eine Loupe gesammelten Lichtkegels einer Kerzenflamme auf die Sclerotica in der Gegend des Aequators und bewege die Loupe leicht hin und her. Wenn das Auge hierbei auf ein dunkles Gesichtsfeld blickt, so erscheinen die Netzhautgefässe in einem rothgelben Felde. Bei den Bewegungen der Lichtquelle bewegen sich auch die Netzhautgefässe im selben Sinne wie diese.

2. Indem das Auge auf einen dunkeln Hintergrund blickt, bewegt man eine Kerzenflamme dicht vor und unter dem Auge. Alsbald treten die Schatten der Netzhautgefässe hervor, und an der Stelle des directen Sehens entsteht ein von der Mitte der Figur abgewendeter dunkler Halbkreis als Ausdruck des Schattens der Netzhautgrube. Auch hier bewegen sich die Netzhautgefässe im Sinne der bewegten Flamme.

3. Kann man die Netzhautaderfigur hervorrufen, wenn man gegen den klaren Himmel blickt und einen dunkeln Schirm mit einer feinen Oeffnung vor der Pupille hin und her bewegt.

Die Schatten werden bei den ersten beiden Methoden desshalb empfunden, weil sie auf solche Netzhautstellen fallen, welche von ihnen unter gewöhnlichen Umständen nicht betroffen werden, bei der letzten Methode desshalb, weil die umgebende Netzhaut tief beschattet ist.

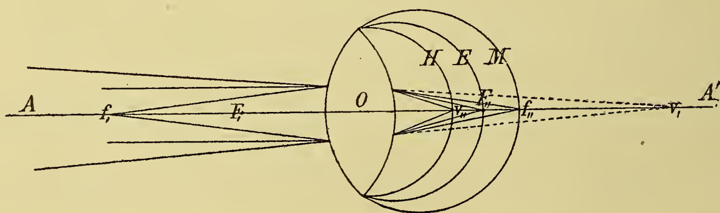
---

1. Capitel.

Begriff der Refraction und Accommodation des Auges und deren Anomalien.

§ 14. Stellt Fig. 10 den Durchschnitt einer Biconvexlinse dar und die Linie A A, deren Axe, $F_{,}$ und $F_{,,}$ ihre Brennpunkte und O das Centrum der Linse, so finden wir den Vereinigungspunkt paralleler Strahlen, die wir auf die Fläche der Linse ziehen, in $F_{,,}$, dem hinteren Brennpunkt. Kommen die Strahlen aber von einem endlichen Punkte, z. B. von $f_{,}$, her, so finden wir deren conjugirten Vereinigungspunkt hinter dem hinteren Brennpunkte in $f_{,,}$. Eine dritte Richtung von Strahlen, nämlich solche, welche convergent auf die Vorderfläche der

Fig. 10.



Linse auffallen, findet sich unter gewöhnlichen Umständen nicht vor, doch kann eine solche Richtung von Strahlen auf künstlichem Wege, z. B. durch Concavspiegel oder Sammellinsen, hervorgebracht werden. Fallen nun solche durch einen künstlichen Apparat convergent gemachte Strahlen auf die Vorderfläche der Linse, und ist deren virtueller Vereinigungspunkt etwa in $v_{,}$, so werden dieselben so gebrochen, dass sie sich in $v_{,,}$, also vor dem hinteren Brennpunkte zu einem Punkte vereinigen.

Repräsentirt uns dieselbe Convexlinse die gesammten brechenden Medien des menschlichen Auges, und ziehen wir durch $F_{,,}$, $f_{,,}$ und $v_{,,}$ die krummen Linien E, M und H, dann repräsentiren uns die letzteren die Lage der Netzhaut bei normalsichtigen, kurzsichtigen und übersichtigen Augen.

Nennen wir mit Donders den Zustand eines normalsichtigen Auges Emmetropie (von ἐν, μέτρον und ὄψ, Sehen innerhalb des Masses),

so muss jedes Abweichen von diesem Maasse als Ametropie bezeichnet werden. Das kurzsichtige und das übersichtige Auge sind desshalb ametropische Augen.

Wie die Zeichnung lehrt, vereinigen sich parallele Strahlen auf der Netzhaut des emmetropischen Auges, während sie auf der Netzhaut von kurzsichtigen oder übersichtigen Augen Zerstreuungskreise bilden, deren Durchschnitte bei v,, und f,, zu sehen sind.

Emmetropische Augen sehen desshalb ohne Intervention von künstlichen Mitteln deutlich in die Ferne, und die Emmetropie bildet desshalb gleichsam den Nullpunkt in der Scala der verschiedenen Refractionsanomalien.

Sowohl divergent, als auch convergent auffallende Strahlen erzeugen nach ihrer Brechung einen Zerstreuungskreis auf der Netzhaut des emmetropischen Auges, denn zwischen Object und Bild auf der Netzhaut gibt es nur je zwei conjugirte Vereinigungspunkte, deren Lage durch das Brechungsgesetz bestimmt und von uns kennen gelernt worden ist.

Die brechenden Medien des menschlichen Auges sind sogenannte Constanten, d. i. sie verändern sich nicht, wenn die Augen für den Fernpunkt eingestellt sind. Ametropie wird desshalb in der Regel nur durch abnorme Lage der Netzhaut (hinter oder vor dem hinteren Brennpunkt des Auges) hervorgerufen.

Die Kurzsichtigkeit, Myopie (von μυεῖν, Zwinkern), ist jener Refractionszustand, bei welchem die Netzhaut hinter dem Brennpunkte zu liegen kommt. Parallele Strahlen vereinigen sich desshalb in diesem letzteren, also vor der Netzhaut und bilden überkreuzt einen Zerstreuungskreis auf derselben. Ein leuchtender Punkt, welcher auf der Netzhaut des myopischen Auges sich wieder in einem Punkte vereinigen soll, muss in einer bestimmten endlichen Entfernung vor dem Auge liegen, sendet demnach divergente Strahlen dem Auge zu und heisst Fernpunkt des myopischen Auges. Je weiter die Netzhaut hinter die hintere Brennebene rückt, desto näher liegt der Fernpunkt dem Auge. Da die Myopie in der Verlängerung der Bulbusaxe ihren Grund hat, so nennt man ein myopisches Auge ein bathymorphes Auge und die Myopie Bathymorphie (von βαθύς, lang und μορφή, Gestalt).

Hypermetropie, Hyperopie (von ὑπέρ und ὄψ), Uebersichtigkeit, ist jener Refractionszustand, bei welchem die Netzhaut vor dem hinteren Brennpunkte des optischen Systemes liegt. Parallele Strahlen werden, weil sie in diesem letzteren zur Vereinigung kommen, auf der Netzhaut des hyperopischen Auges einen Zerstreuungskreis bilden. Divergent auffallende Strahlen, die sich hinter dem Brennpunkte vereinigen, werden diesen Zerstreuungskreis noch vergrössern. Wir haben aber schon früher gesehen und aus dem Gang der Strahlen in Biconvexlinsen gelernt, dass, im Falle als die Objectsdistanz negativ wird, d. i. wenn die Strahlen convergent auf das optische System auffallen, der conjugirte Vereinigungspunkt (Bildpunkt) vor dem hinteren Brennpunkt liegt. Soll also im hyperopischen Auge ein deutliches Bild auf der Netzhaut erzeugt werden, so muss die Objectsdistanz negativ sein, d. h. die Strahlen müssen convergent auf das Auge fallen, und da zu jeder Lage des Objectspunktes eine bestimmte Lage des Bildpunktes gehört und umgekehrt, so muss für ein bestimmtes hyperopisches Auge ein

bestimmter Punkt hinter demselben existiren, nach welchem die convergenten Strahlen hinzielen müssen, damit sie durch das brechende System in der Netzhaut vereinigt werden. Dieser Punkt heisst Fernpunkt des hyperopischen Auges, und derselbe ist, da er hinter dem Auge liegt, ein negativer. Das hyperopische Auge wird, da es kürzer als ein emmetropisches ist, ein brachymorphes und die Hyperopie auch Brachymorphie genannt (von βραχύς, kurz).

Um den Grad der Ametropie zu bestimmen, haben wir kein anderes Mittel, als die Differenz im Brechwerthe des emmetropischen und ametropischen Auges festzustellen. Wir könnten allerdings aus der Lage des Fernpunktes die Lage des Bildpunktes und somit die Länge der Augenaxe resp. deren Verlängerung oder Verkürzung im Vergleich mit dem emmetropischen Auge berechnen. Aber abgesehen davon, dass wir für diese Berechnung nur die Maasse des schematischen Auges, also keine wirklich gemessenen Grössen besitzen, wodurch Irrthümer unvermeidlich wären, kämen wir nur zur Erkenntniss, welche Länge der Bulbusaxe einem bestimmten Grade der Ametropie entspricht. Für unsere Zwecke aber ist es nöthig, den Brechwerth der Ametropie zu kennen, weil es von Wichtigkeit ist, diese zu corrigiren und die Correction nur durch Linsen von ähnlichen Brechwerthen geschehen kann.

Den Brechwerth der Ametropie finden wir in der Weise, dass wir uns bemühen das ametropische Auge in ein emmetropisches zu verwandeln. Wenn wir früher von Objects- und Bilddistanz gesprochen haben, so bezogen sich diese Grössen, wie uns bekannt, auf die Entfernung des Objectes und des Bildes vom ersten resp. zweiten Hauptpunkte. Da jedoch die Winkel, welche die von zwei Objectspunkten ausgehenden Strahlen und ihre Fortsetzungen nach der Brechung an den Hauptpunkten mit einander bilden, nicht bekannt sind, der Gesichtswinkel aber, der im Kreuzungspunkte der Richtungslinien, also im Knotenpunkte, liegt, ein leicht berechenbarer ist, so erscheint es von Wichtigkeit, Objects- und Bilddistanz vom Knotenpunkte aus zu rechnen ($g_{,}$ und $g_{,,}$). Um aus einem myopischen Auge ein emmetropisches zu machen, erscheint es nothwendig, in dem Knotenpunkte des Auges eine Linse einzusetzen, welche die einfallenden parallelen Strahlen derart zerstreut, als kämen sie vom Fernpunkte des myopischen Auges her. Eine solche Linse ist, wie wir früher gesehen haben, eine Concavlinse, deren Brennweite so gross sein müsste, als die Fernpunktsdistanz des myopischen Auges. Da diese Concavlinse die Linse des Auges, in welcher sie sich jetzt befindet, um ihren eigenen Brechwerth schwächer macht, so kann man sich vorstellen, dass die Myopie statt aus der Verlängerung der Bulbusaxe dadurch entstanden ist, dass die Linse um den Brechwerth der Myopie zu stark ist, und dass der Brechwerth der Linse um diese gedachte, accessorische Linse verringert werden muss, um aus dem myopischen Auge ein emmetropisches zu machen. Da aber die Concavlinse nicht im Knotenpunkte des Auges, sondern nur vor dem Auge angebracht werden kann, so muss sie, um die parallelen Strahlen so zu zerstreuen, als kämen sie vom Fernpunkte her, eine um die Differenz ihrer jetzigen Lage von dem Knotenpunkte verringerte Brennweite haben, also stärker sein, als wenn sie im Knotenpunkte sässe. Der Brechwerth der Myopie wird desshalb immer geringer sein, als der Brechwerth der vor dem Auge sitzenden corrigirenden Concavlinse.

Sitzt wie gewöhnlich die Concavlinse ungefähr im vorderen Brennpunkte des Auges, so beträgt ihr Abstand vom vorderen Knotenpunkte beiläufig $\frac{1}{2}$ Zoll, und um diesen halben Zoll müssen wir die Brennweite des zur Emmetropie corrigirenden Glases vergrössern, um den richtigen Werth der Myopie auszudrücken. Ein Beispiel mag das Gesagte erläutern. Ein Auge sieht undeutlich in die Ferne, eine Concavlinse von 8 Zoll Brennweite, $\frac{1}{2}$ Zoll vor den Knotenpunkt des Auges gesetzt, macht die entfernten Bilder vollkommen deutlich, dann ist das Glas $-\frac{1}{8}$ das zur Emmetropie corrigirende, und der Brechwerth der Myopie beträgt $\frac{1}{8\frac{1}{2}}$, oder wie wir zu schreiben pflegen, es ist M $\frac{1}{8\frac{1}{2}}$.

Um ein hyperopisches Auge in ein emmetropisches zu verwandeln, müssen wir eine Convexlinse in den Knotenpunkt des Auges setzen, welche die parallelen Strahlen derartig convergent macht, dass sie sich im negativen Fernpunkte vereinigen würden, wenn das Auge nicht vorhanden wäre. Da nun der negative Fernpunkt und die Netzhaut des hyperopischen Auges conjugirte Punkte sind, so würden die parallelen Strahlen auch auf der Netzhaut zur Vereinigung kommen. Wir können uns also vorstellen, dass die Linse des hyperopischen Auges zu schwach sei, und zwar um jene Linse, welche die parallelen Strahlen nach dem Fernpunkte convergiren macht.

Offenbar muss diese Linse eine Brennweite haben, die so gross ist, als der Abstand des negativen Fernpunktes vom Knotenpunkte des Auges, und wir könnten den Brechwerth dieser Linse als den Brechwerth der der Linse fehlenden, demnach als den Brechwerth der Hypermetropie auffassen. Da aber die Linse, die das hyperope Auge zur Emmetropie corrigirt, nicht im Knotenpunkte des Auges, sondern nur vor dem letzteren sitzen kann, so muss die Brennweite derselben eine um die Distanz zwischen Knotenpunkt und Glas vergrösserte, also der Brechwerth ein geringerer sein, als wenn die Linse im Knotenpunkte sässe. Der Brechwerth der Hyperopie muss desshalb ein etwas grösserer sein, als der Brechwerth des Glases, welches das hyperope Auge zur Emmetropie corrigirt. Z. B. wird ein für die Ferne schlecht sehendes Auge durch ein Convexglas von 8″ Brennweite $\frac{1}{2}$″ vor dem Auge für die Ferne scharfsichtig gemacht, so beträgt der Brechwerth der Hyperopie $\frac{1}{7\frac{1}{2}}$, oder es ist H $\frac{1}{7\frac{1}{2}}$.

§ 15. Wenn auch die Berechnung der Bulbuslänge auf nicht ganz sicherer Grundlage beruht, so ist es doch wichtig, einen Anhaltspunkt dafür zu gewinnen, in welchem Verhältnisse die Bulbuslänge zur Ametropie steht. Gleichung c) (pag. 4) macht die Berechnung zu einer sehr einfachen. Wir brauchen nur in der Gleichung

$$l_{,} l_{,,} = F_{,} F_{,,}$$

entweder $l_{,}$ oder $l_{,,}$ einen bestimmten Werth zu geben, um den Werth des anderen Factors zu finden. Wollen wir z. B. fragen, welchem Refractionswerthe entspricht die Verlängerung der Bulbusaxe um einen Millimeter, dann müssen wir die Netzhaut als das Object und den Fernpunkt als das Bild desselben ansehen und die Constanten des Auges in umgekehrter Ordnung bezeichnen. Da die Netzhaut einen Millimeter hinter dem Brennpunkt liegen soll, so ist $l_{,} = f_{,} - F_{,} = 1$,

und da wir von der Netzhaut ausgehen, müssen wir unter $F_,$ die hintere Brennweite $F_{,,}$ verstehen. Wenn wir diesen Werth in die Gleichung setzen, so ist $l_, l_{,,} = 15 . 20$ oder $l_{,,} = \frac{15 . 20}{1} = 300$, und da $f_{,,} = l_{,,} + F_{,,}$ ist, so ist $f_{,,} = 300 + 15 = 315$.

Da wir aber nicht vom Hauptpunkte, sondern vom Knotenpunkte aus rechnen, so müssen wir den Fernpunktsabstand bezeichnen als

$$g_{,,} = l_{,,} + G_{,,} = l_{,,} + F_, = 300 + 20 = 320.$$

Dividiren wir 1000 mm durch 320, so ist die letztere Zahl ungefähr dreimal in der ersteren enthalten, d. i. das Auge hat M 3 D $= \frac{1}{13}$.

Ist $l_, = 2$ mm, also die Netzhaut 2 mm hinter dem Brennpunkte gelagert, dann ist $l_{,,} = \frac{300}{2} = 150$ mm und $l_{,,} + G_{,,} = l_{,,} + F_, = 150 + 20 = 170$ mm.

Dividiren wir 170 in 1000 mm = 1 m, so erhalten wir eine M $5^{15}/_{17}$ D, also beiläufig 6 D.

Liegt aber die Netzhaut 1 mm vor dem hinteren Brennpunkte, dann ist $l_, = -1$, $l_{,,} = \frac{300}{-1} = -300$ mm, da wir aber den Fernpunkt vom Knotenpunkte und nicht vom Hauptpunkte aus rechnen, so ergibt sich folgende Calculation $g_{,,} = -(l_{,,} - G_{,,}) = -300 + 20 = -280$, $\frac{1000}{280} = 3^4/_7$, also es besteht H $3^4/_7$ D.

Bei $l_, = -2$ mm ist $l_{,,} = -150$ und $g_{,,} = -150 + 20 = -130$, und es besteht eine H $7^9/_{13}$ D.

In solcher Weise lässt sich für jede Lage der Netzhaut relativ zum Brennpunkte die durch diese Lage veranlasste Refractionsanomalie berechnen.

Umgekehrt lässt sich bei jeder Refractionsanomalie die Lage der Netzhaut berechnen. Besteht z. B. M 12·5 D, so ist $l_, = g_, - G_, = 80 - 20 = 60$ mm und $l_{,,} = \frac{F_, F_{,,}}{l_,} = \frac{300}{60} = 5$ mm; die Netzhaut liegt also in diesem Falle 5 mm hinter dem zweiten Hauptbrennpunkte des Auges.

§ 16. Wir haben früher den Grund der Ametropie in Verlängerung resp. Verkürzung der Augenaxe kennen gelernt.

Theoretisch genommen könnte man sich noch verschiedene Ursachen für einen solchen Bau des Auges denken, bei welchem parallele Strahlen nicht auf der Netzhaut zur Vereinigung kommen. Es brauchte nur der Brechungsindex eines der Medien des Auges sich zu erhöhen oder zu verringern oder die Krümmung einer der brechenden Flächen des Auges stärker oder schwächer werden, oder es könnte endlich ein Theil der brechenden Medien fehlen, immer könnte in diesen Fällen bei constanter Länge der Augenaxe der Vereinigungspunkt paralleler Strahlen vor oder hinter die Netzhaut fallen. Es fragt sich nur, treten im menschlichen Auge die geschilderten Verhältnisse oder eines oder das andere von denselben in der That zuweilen auf.

Wenn wir auch von der später zu erörternden Accommodation des Auges absehen, kann im menschlichen Auge sowohl durch Veränderung oder Krümmung an den brechenden Flächen, als auch durch Erhöhung des Brechungsindex, endlich auch durch das Fehlen eines im Auge befindlichen, brechenden Körpers Ametropie hervorgerufen werden. So erzeugen der sogenannte Keratoglobus und die sogenannte cornea globosa durch stärkere Krümmung der Hornhaut einen mehr oder weniger starken Grad von Myopie. Es gibt ferner Abflachungen der Hornhaut, welche, wenn sie auch durch entzündliche Processe hervorgerufen werden, sich durch Mangel von Trübung auszeichnen und zuweilen sehr hohe Grade von Hypermetropie hervorbringen können. Im Beginn des sogenannten Altersstaares tritt häufig Kurzsichtigkeit, zuweilen ein sehr erheblicher Grad von Myopie auf.

Die Ursache derselben kann nur in einer Erhöhung des Brechungsindex der Linse gelegen sein, und ist für diese Vermuthung der Befund eines höheren Gehaltes von Cholestearin in solchen Linsen als ein unterstützendes Moment anzusehen.

Die wichtigste und häufigste Form der in erwähnter Weise entstehenden Ametropie ist die Aphakie (von α privat. und φακός, die Linse).

Wir haben früher gesehen, dass im schematischen Auge eine Brennweite von 43·7 mm der Linse zuerkannt wurde.

Wenn auch, wie ebenfalls erwähnt wurde, diese Brennweite etwas zu kurz angenommen worden ist, so muss doch das Fehlen eines so stark brechenden Körpers im Auge einen sehr hohen Grad von Hypermetropie erzeugen.

Unter Aphakie versteht man nämlich jenen optischen Zustand des Auges, bei welchem die Erzeugung des Netzhautbildes ohne Intervention der Linse zustande kommt. Dabei ist es selbstverständlich gleichgültig, ob die Linse aus dem Auge entfernt wurde, oder ob sie, wenn auch im Auge verblieben, aus dem Pupillargebiete verschwunden ist.

Durch die Aphakie wird das Auge zu einem einfachen, dioptrischen Systeme umgewandelt, bei welchem der Knotenpunkt im Mittelpunkte der Krümmung der brechenden Fläche der Cornea liegt. Der Scheitel der Hornhaut liegt dabei im Hauptpunkte des Systemes. Wir brauchen uns nur der Gleichung a) zu erinnern:

$$\frac{n_{,}}{f_{,}} + \frac{n_{,,}}{f_{,,}} = \frac{n_{,,} - n_{,}}{r},$$

um einzusehen, dass sich sowohl die Brennweiten als auch die Bilddistanz eines jeden, wo immer gelegenen Objectes aus derselben leicht berechnen lassen. Um die hintere Brennweite zu berechnen, brauchen wir nur in unserer Gleichung $f_{,} = \infty$, $n_{,}$ (Brechungsindex der Luft) $= 1$ und $n_{,,}$ (Brechungsindex des Kammerwassers und Glaskörpers) $= \frac{103}{77}$, $r = 8$ mm zu setzen. Wir haben dann

$$\frac{\frac{103}{77}}{f_{,,}} = \frac{\frac{103}{77} - 1}{8}, \text{ d. i. } f_{,,} = 31{\cdot}7\,\text{mm} = F_{,,}.$$

Um $F_{,}$ zu finden, muss man in der Gleichung a) $f_{,,} = \infty$ setzen, wodurch sich unsere Gleichung verwandelt in:

$$\frac{1}{f_{,}} = \frac{\frac{103}{77} - 1}{8}, \text{ hieraus } f_{,} = 23{\cdot}7 \text{ mm} = F_{,}.$$

Die berechneten Brennweiten des aphakischen Auges sind demnach nichts anderes, als die Brennweiten der Hornhaut mit corrigirten Decimalen. Berechnet man nun, welcher Grad von Hypermetropie unter Annahme der Werthe der Constanten und der Längsaxe des schematischen Auges von 22·231 mm bei Entfernung der Linse entstehen müsste, so gibt uns die Gleichung a) wieder vollkommenen Aufschluss. Es braucht nur die negative Objectsdistanz gleich der Bulbuslänge genommen zu werden, um die Entfernung zu berechnen, in welcher sich Strahlen, welche von der Netzhaut ausgehen, in einem Punkte hinter dem Auge vereinigen würden; wir hätten dann

$$\frac{\frac{103}{77}}{22{\cdot}231} + \frac{1}{f_{,,}} = \frac{\frac{103}{77} - 1}{8},$$

nur müssen wir für $n_{,}$ den Brechungsindex des Glaskörpers und für $n_{,,}$ den Brechungsindex der Luft $= 1$ setzen.

Hieraus wird der Werth von $f_{,,} = - 55{\cdot}66$ mm gefunden.

Da wir jedoch den Werth der Refractionsanomalien vom Knotenpunkte und nicht vom Hauptpunkte aus berechnen, so müssen wir von der für $f_{,,}$ gefundenen Zahl die Entfernung des Knotenpunktes vom Scheitelpunkte der Hornhaut $= 8$ mm abziehen, woraus wir $H = \frac{1000}{47{\cdot}66} = 20{\cdot}98$ D oder nach dem Zollsysteme $H = \frac{1}{1{\cdot}86}$ erhalten.

Es würde demnach ein ametropisches Auge durch den Verlust der Linse in ein solches mit $H \frac{1}{1{\cdot}86}$ verwandelt werden. Es widerspricht dieses Resultat aber der täglichen Erfahrung, nach welcher Gläser von $\frac{1}{4} - \frac{1}{3^1/_2}$ für die grosse Mehrzahl aphakischer Augen zum Deutlichsehen in die Ferne genügen, und dass namentlich solche Augen, welche vor der Staarbildung scharf in die Ferne und auch in der Nähe gut gesehen hatten, mit den letzgenannten Gläsern für die Ferne corrigirt werden.

Berechnen wir das Glas, welches eine $H \frac{1}{1{\cdot}86}$ des aphakischen Auges für die Ferne corrigiren würde, so müssen wir zu dem Nenner 1·86 die Entfernung zwischen Knotenpunkt und Glas, welches wir 9 mm vor die Hornhaut setzen wollen, gleich 17 mm addiren, wodurch wir ein Glas $+ \frac{1}{2{\cdot}48}$ erhalten.

Ziehen wir die gewöhnlich corrigirenden Gläser $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{3^1/_2}$ von $\frac{1}{2{\cdot}48}$ ab, so erhalten wir die Zahlen $\frac{1}{6{\cdot}5}$ und $\frac{1}{8{\cdot}5}$, welche die Hyper-

metropie repräsentiren, die ein Auge mit den Constanten und der Axenlänge des schematischen Auges bei Vorhandensein der Linse haben müsste. Ein solches Schema entspricht demnach nicht der Emmetropie, sondern einer höhergradigen Hypermetropie.

Das schematische Auge würde demnach, wenn es den wirklichen Brechungsverhältnissen des Auges entsprechen soll, eine geringere Hornhautkrümmung, eine grössere Brennweite der Linse und eine grössere Länge der Augenaxe haben müssen.

Nach Mauthner würde ein Auge mit einem Hornhautradius von 7·6 mm und einer Axenlänge von 23·8—24·1 mm dem Mittelwerthe eines emmetropischen Auges entsprechen.

§ 17. Wir haben die Refractionsanomalien und das emmetropische Auge bisher von dem Standpunkte aus betrachtet, dass die Augen für ihren Fernpunkt eingerichtet sind. Diese Einrichtung für die Ferne besteht bei vollkommener Entspannung der im menschlichen Auge behufs Aenderung der Einstellung vorhandenen Muskeln. Ueber diesen Fernpunkt hinaus kann sich desshalb das Auge nicht einrichten, wohl aber vermitteln die erwähnten Muskeln das scharfe Sehen für näher gelegene Punkte. Diese Einrichtung wird **Accommodation** oder **Adaption** des Auges genannt.

Die Beweise für die Accommodation des Auges sind mannigfache. Eine der wichtigsten Nachweise für dieselbe ist der Scheiner'sche Versuch. Derselbe besteht darin, dass man durch zwei feine Oeffnungen in einem Schirm, die so nahe an einander liegen, dass das durch beide Oeffnungen dringende Licht gleichzeitig in die Pupille fällt, einen zarten Gegenstand, z. B. eine Nadel oder einen feinen Draht vor einem hellen Hintergrunde betrachtet. Die Oeffnungen müssen horizontal gerichtet sein, wenn die Nadel vertical steht, und umgekehrt. In einer bestimmten Entfernung vom Auge erscheint die Nadel einfach, näher und weiter erscheint sie doppelt. Dieser Versuch ist nicht nur desshalb wichtig, weil er beweist, dass Strahlen, die von einem dem Auge nahe liegenden Punkte herrühren, auch in einem und demselben Punkte auf der Netzhaut vereinigt werden können, sondern auch desshalb, weil aus demselben die älteren Physiker und Physiologen auf eine mittlere deutliche Sehweite des menschlichen Auges geschlossen und aus derselben sehr wichtige Erklärungsversuche deducirt haben.

Es ist in der That auffällig, dass die Accommodation bei diesem Versuche für eine ganz bestimmte Entfernung (8—10″) stattfindet, für einen näher oder entfernter gelegenen Punkt jedoch nicht zustande kommen kann.

Wenn wir das Nichtzustandekommen der Accommodation für die geringere Distanz mit Donders dadurch erklären wollen, dass eine stärkere Accommodationsanspannung desshalb nicht angeregt wird, weil die Entfernung des Objectes uns unbekannt bleibt, so kann dieser Erklärungsversuch für die vom Auge entferntere Distanz der Nadel keine Gültigkeit haben, da doch in diesem Falle eine geringere Accommodationsanstrengung beansprucht wird, als für jene Entfernung, in welcher die Nadel einfach gesehen wird. Wir werden aber an verschiedenen Stellen dieses Lehrbuches sehen, dass wir immer Objecte oder Bilder, die wir in geringer Entfernung vermuthen, ohne ihre Distanz wirklich zu kennen, stets in eine Entfernung von 8—10″ verlegen.

Die Vorstellung nämlich von der Nähe eines Gegenstandes regt die Accommodation an, und zwar, wie es scheint, nicht bis zur höchsten Anspannung derselben, sondern bis zu einem Grade, welcher etwa die Hälfte der zu Gebote stehenden Accommodationskraft in Anspruch nimmt.

Liegt der Gegenstand ferner oder näher, als diesem Accommodationszustande entspricht, so wird nichts desto weniger unter der Herrschaft der erwähnten Vorstellung immer dieselbe Accommodationsquote in Thätigkeit gesetzt.

Ein weiterer, sehr wichtiger Nachweis für die Accommodation beruht in der Verkleinerung der Reflexbilder an der Vorder- und Hinterfläche der Linse beim Nahesehen. Diese Verkleinerung des vorderen Linsenreflexbildes beweist, dass die Krümmung der vorderen Linsenfläche zugenommen haben müsse, da bei Convexspiegeln die Bilder um so kleiner werden, je kleiner der Krümmungsradius wird. Die Verkleinerung dieser Reflexbilder wurde von Helmholtz, Donders, Knapp und anderen gemessen, und die aus derselben berechnete Vermehrung der Krümmung für das Zustandekommen einer Accommodation bis auf 4″ für genügend befunden.

Hensen und Völkers haben durch den experimentellen Nachweis der Contraction des Ciliarmuskels bei der Accommodation eine weitere Stütze für die Existenz derselben geliefert. Sie haben nämlich, indem sie feine Nadeln in der Aequatorialgegend des Bulbus in denselben stiessen und den Accommodationsnerv electrisch reizten, solche Bewegungen an denselben hervorgerufen, dass aus ihnen auf eine Bewegung der Chorioidea nach vorn geschlossen werden konnte, woraus sich ferner ergab, dass diese Vorrückung der Aderhaut eine Wirkung des sich contrahirenden Ciliarmuskels war.

Ich habe diese Experimente noch dahin ergänzt, dass ich gleichzeitig mit den Nadelbewegungen die Verkleinerung der Linsenbilder bei Reizung des Oculomotorius nach einer neuen Methode beobachten konnte.

Hiermit in Uebereinstimmung ist das von Czermak entdeckte Accommodationsphosphen.

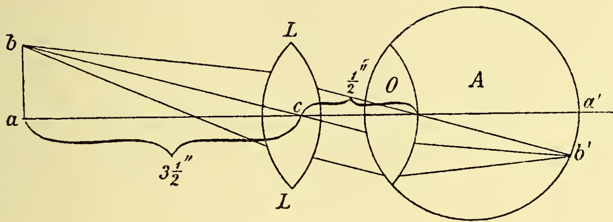
Czermak hatte nämlich beobachtet, dass, wenn man im Finstern bei geschlossenen Augen seinen Finger nahe vor das Auge hält mit der Intention, denselben zu fixiren, und ihn rasch wieder entfernt, unmittelbar vor dem Auge eine kreisförmige Lichterscheinung auftritt.

Czermak schliesst hieraus, dass beim Nachlassen der Accommodation die nach hinten zurückweichende Retina eine Zerrung an der Ora serrata erleide, welche sich durch die erwähnte Lichterscheinung bemerklich macht.

Den Mechanismus der Accommodation können wir als bekannt voraussetzen und müssen uns hier nur mit der optischen Wirkung beschäftigen. Wenn sich ein Object 4″ vor dem Knotenpunkte eines emmetropischen Auges befindet, und wir setzen eine Convexlinse von 3½″ Brennweite ½″ vor dem Knotenpunkte vor dasselbe, so werden die Strahlen, die von dem Objecte, welches 3½″ vor der Linse sich befindet, also im Brennpunkte dieser letzteren steht, von dieser parallel gemacht und desshalb auf der Netzhaut vereinigt werden (siehe Fig. 11). Könnten wir die Linse in den Knotenpunkt des Auges setzen, dann brauchten wir keine solche von 3½″ Brennweite, sondern eine Linse von 4″ Brennweite. Da nun durch die Accommodation des Auges

infolge der stärkeren Krümmung der vorderen Linsenfläche und grösseren Dicke der Linse der Werth einer solchen Convexlinse ersetzt wird, und wir uns vorstellen können, dass sich das Auge eine solche Hilfslinse durch die Accommodation beigelegt hat, so dürfen wir den Brechwerth der Accommodation gleichsetzen dem Brechwerthe der Convexlinse, durch welche derselbe Zweck erreicht würde. $\frac{1}{A}$ (der Brechwerth der Accommodation, Donders) ist demnach in unserem Falle $= \frac{1}{8} = 5$ D.

Fig. 11.



Fragen wir nun nach dem dem Auge nächsten Punkte, für welchen das Auge noch accommodirt werden kann, so haben Versuche gezeigt, dass im kindlichen Lebensalter ein emmetropisches Auge noch auf 3″ accommodiren könne, dass also $\frac{1}{A} = \frac{1}{3} = 13$ D sein kann. Dieser letztere Punkt wird Nahepunkt des Auges, Punctum proximum, genannt.

Wollen wir den Brechwerth der Accommodation erfahren, die das Auge aufbieten muss, um aus seiner Ruhelage bis auf seinen Nahepunkt zu accommodiren, so müssen wir den reciproken Werth des Fernpunktabstandes vom reciproken Werthe des Nahepunktabstandes abziehen, und die Differenz gibt uns dann den Werth der Accommodationsbreite. Liegt z. B. der Nahepunkt in 3″, und ist das Auge ein emmetropisches, so ist $\frac{1}{A}$ (Accommodationsbreite) $= \frac{1}{3} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{3}$. Wollen wir die Accommodationsbreite eines Myopen von $\frac{1}{12}$ erfahren, dessen Nahepunkt ebenfalls in 3″ vor dem Knotenpunkte liegt, so brauchen wir nur $\frac{1}{3} - \frac{1}{12} = \frac{1}{4}$ zu rechnen, um dieselbe zu finden.

Setzen wir die ganze Accommodationsbreite eines Auges = 1, so können wir die Accommodationsquote erfahren, welche bei der Accommodation für einen bestimmten Punkt aufgewendet wird. Wir brauchen nur den reciproken Werth der Entfernung dieses Punktes durch den reciproken Werth des Nahepunktes zu dividiren. Wollen wir z. B. wissen, welche Accommodationsquote ein emmetropisches Auge, das seinen Nahepunkt in 3″ hat, bei einer Accommodation auf 12″ anwendet, so brauchen wir nur $\frac{1}{12}$ durch $\frac{1}{3}$ zu dividiren, um die Quote $\frac{1}{4}$ zu erhalten.

Um die Accommodationsbreite eines Auges kennen zu lernen müssen wir demnach dessen Fern- und Nahepunkt kennen.

Die Methoden, nach welchen der Fernpunkt bestimmt wird, werden wir später kennen lernen.

Zur Bestimmung des Nahepunktes bedient man sich am besten des sogenannten Stäbchenoptometers. Dasselbe besteht aus einem rechteckigen kleinen Metallrahmen, in welchem eine Reihe feinster schwarzer Fäden (gewöhnlich 8) neben einander im gegenseitigen Abstande von 3 mm vertical ausgespannt sind, und welcher an einem Stiele befestigt ist. An diesem Stiele ist ein Centimetermaass angebracht, welches sich mittelst einer Feder in eine Metallbüchse aufrollt. Bei der Untersuchung wird die Büchse an die Schläfe gelegt, der zu Untersuchende fasst den Stiel des Optometers und bringt das letztere so nahe an sein Auge, als dieses noch imstande ist, die Fäden scharf ohne seitliche Schatten und ohne wellige Krümmung wahrzunehmen. Die Entfernung des nächsten Punktes, in welchem die Fäden noch deutlich gesehen werden, bis zur Basis der Hornhaut kann an dem Centimetermaasse abgelesen werden und ist der Ausdruck für den Nahepunkt des Auges.

Auch für die Bestimmung des binoculären Nahepunktes, von dem wir später sprechen werden, wird das Stäbchenoptometer mit Vortheil verwendet.

Eine andere Methode zur Bestimmung des Nahepunktes besteht in der Eruirung des nächsten Punktes, in welchem sehr kleine Buchstaben noch deutlich erkannt werden. Doch ist diese Bestimmung viel unsicherer als die nach der ersten Methode, weil Buchstaben auch in Zerstreuungskreisen errathen werden können.

Zur Ausführung dieser Methode eignen sich am besten die Proben Nr. 1 und 2 von Jäger, sowie Nr. $I^{I}/_{II}$ von Snellen.

Eine dritte, sicherere Methode als die eben erwähnte besteht in der Prüfung des Nahepunktes mittelst der Burchardt'schen Punkttafeln.

Die Tafeln enthalten Gruppen von Punkten, deren Zahl in bestimmten Entfernungen erkannt werden muss. Die kleinsten derselben, welche in $5^{3}/_{4}''$ als fernstem Punkt erkannt werden sollen, geben ein sehr feines Maass zur Bestimmung des Nahepunktes.

Liegt der Nahepunkt weiter als 8″ vom Knotenpunkte des Auges entfernt, so räth Donders, den Nahepunktsabstand mittelst einer Convexlinse zu prüfen, welche das Auge befähigt, in 8″ noch scharf zu sehen. Aus der Brennweite dieses Glases ($7^{1}/_{2}''$) und aus der Entfernung des Objectes von demselben lässt sich der Nahepunktsabstand sehr einfach bestimmen. Da das Object innerhalb der Brennweite des Glases liegt, so werden wir diesen Werth aus der Gleichung $\frac{1}{f_{,}} - \frac{1}{f_{,,}} = \frac{1}{F}$ ($f_{,,}$ ist negativ, weil $f_{,}$ innerhalb der Brennweite liegt) finden, wenn wir für $f_{,}$ $7^{1}/_{2}$, für F die Brennweite der Linse, z. B. 12″, setzen. Es wird dann sein $\frac{1}{f_{,,}} = \frac{1}{7^{1}/_{2}} - \frac{1}{12} = \frac{1}{20}$.

Es wird in diesem Falle der Nahepunkt des Auges in 20″ liegen.

Die Vortheile dieser Methode bestehen im Allgemeinen darin, dass eine Bestimmung über das scharfe Sehen in grösserer Entfernung,

welche immer unsicher ausfällt, vermieden wird, und speciell für die Bestimmung des binoculären Nahepunktes, in der Möglichkeit dieselbe immer unter gleicher Convergenz (auf 8″) anzustellen.

§ 18. Von dieser absoluten Accommodationsbreite müssen wir die relative unterscheiden.

Zwischen Accommodation und Convergenz der Gesichtslinien besteht ein schon seit langem bekannter Zusammenhang, so dass je einem Convergenzgrade auch eine bestimmte Accommodationsquote zukommt.

Es lässt sich aber leicht zeigen, dass in gewissen Grenzen eine Lockerung dieses Zusammenhanges möglich ist. Es kann nämlich bei einem bestimmten Convergenzgrade ein Object mit freiem Auge, aber auch mit schwachen Convex- und Concavgläsern, endlich auch mit schwachen ad- und abducirenden Prismen deutlich gesehen werden. Diese Thatsache beweist, dass die Accommodation bei einem bestimmten Convergenzgrade in geringem Grade abgespannt oder stärker angespannt werden könne, sowie dass bei einem bestimmten Accommodationszustande eine geringere Zunahme oder Abnahme der Convergenz statthaft sei. Wir werden zwar später erfahren, dass diese Accommodationsänderung bei einem gegebenen Convergenzgrade, sowie die Veränderung der Convergenz bei demselben Accommodationszustande nur unter dem Zwange des binoculären Sehens zustande kommt, und dass sich nachweisen lässt, dass die Muskeln durch die veränderte Innervation der Accommodation, wenn auch nur in latenter Weise, beeinflusst werden und umgekehrt. Hier wollen wir nur die Modalitäten der relativen Accommodation besprechen, d. i. jenes Spielraumes der Accommodation, der dem Auge für je einen Convergenzgrad gegönnt ist.

Bezeichnen wir mit $P_{,}$ den relativen Nahepunkt, mit $R_{,}$ den relativen Fernpunkt bei einem bestimmten Convergenzgrade, so ist $\frac{1}{A_{,}} = \frac{1}{P_{,}} - \frac{1}{R_{,}}$ der Ausdruck für die relative Accommodationsbreite bei einem bestimmten Convergenzgrade. So ist z. B. in einem emmetropischen Auge bei parallelen Gesichtslinien $P_{,} = 11''$, $R_{,} = \infty$, und demnach $\frac{1}{A_{,}} = \frac{1}{11} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{11}$.

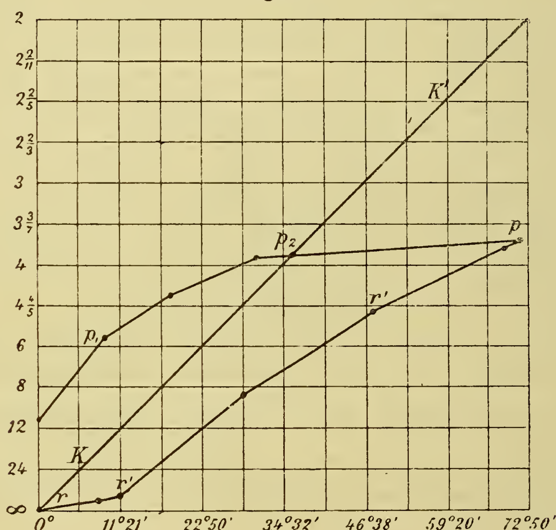
Bei einer Convergenz auf 6″ (22° 50′) ist $P_{,}$ fast $4^{2}/_{19}''$, $R_{,} = 12''$, desshalb ist $\frac{1}{A_{,}} = \frac{1}{4^{2}/_{19}} - \frac{1}{12} = \frac{1}{6 \cdot 24}$. Jener Theil der relativen Accommodationsbreite, welcher die Differenz zwischen der dem Convergenzpunkte und der dem relativen Nahepunkte aufgewendeten Accommodation ausmacht, wird positiver Theil, jener, welcher die Differenz zwischen der dem Convergenzpunkte entsprechenden Accommodation und jener des Fernpunktes bezeichnet, negativer Theil der relativen Accommodationsbreite genannt.

So ist in unserem ersten Beispiele bei parallelen Gesichtslinien der positive Theil der $A_{,} = \frac{1}{11}$, der negative $= \frac{1}{\infty} = 0$. In unserem zweiten Beispiele ist der positive Theil der $A_{,} = \frac{1}{4^{2}/_{19}} - \frac{1}{6} = \frac{1}{13}$ und der negative Theil $= \frac{1}{6} - \frac{1}{12} = \frac{1}{12}$.

Die relative Accommodationsbreite ist bei den verschiedenen Refractionsanomalien eine verschieden gelagerte, und ebenso verändert sich die Lage und Grösse der relativen Accommodationsbreite in den verschiedenen Lebensaltern. Hier wollen wir jetzt die beistehende, dem Lehrbuche von Donders entnommene Figur 12, welche die A, bei einem 15jährigen Individuum mit emmetropischen Augen verzeichnet, näher erklären.

Die horizontalen Linien bezeichnen die verschiedenen Entfernungen vom Auge bis zur unendlichen Ferne, und zwar entspricht ein Zwischenraum zwischen je zwei Linien $\frac{1}{24}$ A. Die verticalen Linien zeigen die verschiedenen Convergenzgrade an. Die Kreuzungspunkte beider Liniengruppen sind durch einen breiten Diagonalstrich verbunden, an welchem der zu je einer Entfernung gehörige Convergenzgrad abgelesen werden

Fig. 12.



kann. Die gebrochene Linie $r_1 r_2$ p bezeichnet die Fernpunktslagen, die gebrochene Linie $p_1 p_2$ p bezeichnet die Nahepunktslagen der A, bei den verschiedenen Convergenzgraden. Bei der Convergenz von 0° finden wir die A, etwa $= \frac{1}{11}$. Sie steigt in ihrer Grösse bis zu einer Convergenz auf 8″, während positiver und negativer Theil so ziemlich dieselbe Grösse haben, und nimmt dann allmälig, vornehmlich in ihrem positiven Theile, in ihrer Grösse ab, bis sie in p_2, dem binoculären Nahepunkte, nur negativ wird und sich schliesslich bis zum absoluten Nahepunkte p immer mehr verkürzt.

§ 19. Unter physiologischen Verhältnissen verändert sich die Accommodationsbreite mit dem Lebensalter, und zwar bei allen Refractionszuständen. Mögen die Veränderungen, welche in einer Abnahme der Accommodationsbreite, in einem Hinausrücken des Nahepunktes bestehen, in einer Verminderung der Elasticität der Linse oder in einer

Vermehrung des Brechungsindex ihrer äusseren Schichten, wodurch ihr Gesammtbrechwerth geringer wird, oder in einer Abnahme der Energie des Ciliarmuskels, oder in allen diesen Umständen ihren Grund haben; für uns sind die Thatsachen wichtig, die sich aus der Erfahrung in dieser Beziehung ergeben.

Betrachten wir zuerst das emmetropische Auge, so lehrt die Erfahrung, dass in einem Alter von 10 Jahren der Nahepunkt etwa in einer Entfernung von $2^2/_3''$ vor dem Auge liegt. Mit dem steigenden Lebensalter rückt der Nahepunkt immer weiter vom Auge ab. Er ist zu 20 Jahren etwa $3^1/_2''$, zu 30 Jahren 5″, zu 40 Jahren 8″, zu 50 Jahren ungefähr 15″, zu 60 Jahren über 24″, zu 70 Jahren mehrere Fuss vor dem Auge und endlich im Alter zwischen 75 und 80 Jahren sogar negativ gelegen.

Im höheren Alter wird nämlich die Linse flacher, die Brechkraft des Auges dadurch verringert, und zwar derartig, dass parallele Strahlen hinter der Netzhaut zur Vereinigung kommen. Der Fernpunkt des Auges, der etwa bis zu 60 Jahren immer in unendlicher Ferne liegt, wird im höheren Alter in eine negative Entfernung zu liegen kommen, d. h. das Auge wird hyperopisch.

Da nun die Accommodationsbreite sich im hohen Grade verringert hat, so liegt auch der Nahepunkt in negativer Entfernung, so dass in die Ferne trotz der Bethätigung der übrig gebliebenen Accommodation undeutlich gesehen wird. Dass mit der Abnahme der absoluten Accommodationsbreite auch die relative abnimmt, ist von selbst klar.

Indem wir die Erörterung der Accommodationsverhältnisse erst bei der näheren Besprechung der Refractionsanomalien vornehmen wollen, müssen wir hier einer abnormen Thätigkeit der Accommodation Erwähnung thun, die eigentlich schon in das Gebiet des Pathologischen gehört. Wir besprechen sie an dieser Stelle, weil sie eine Refractionsanomalie vortäuschen kann und ihre Entstehung und ihr Bestand nach optischen Regeln sich erörtern lässt.

Ist ein Auge für eine bestimmte Distanz accommodirt, und denken wir uns, dass die Accommodation in ihrem Zustande erstarren würde, so haben wir ein myopisches Auge vor uns, dessen Fernpunkt in dem Punkte liegt, für welchen das Auge accommodirt ist. Parallele Strahlen oder Strahlen, die von einem ferner gelegenen Objecte herrühren, werden vor der Netzhaut sich vereinigen und undeutlich gesehen werden. Concavgläser, deren Brennweite um $^1/_2''$ kürzer ist als die Entfernung, für welche das Auge accommodirt ist, werden parallele Strahlen auf der Netzhaut zur Vereinigung bringen, gerade so, wie in einem wirklich myopischen Auge.

Der Unterschied zwischen diesem und dem besprochenen ist nur der, dass bei ersterem die Netzhaut desshalb hinter dem Brennpunkt liegt, weil die Längsaxe des Auges zu gross ist, bei letzterem aber desshalb, weil der Brennpunkt vor die Netzhautebene des normallangen Auges rückt. Bei ersterem haben die Cardinalpunkte und Constanten des Auges eine normale Lage, bei letzterem ist die Lage eine veränderte. Vor Allem sind die Brennweiten kürzer geworden und desshalb der hintere Brennpunkt vor die Netzhautebene gerückt. Auch in Bezug auf die Bildgrösse unterscheiden sich die beiden Arten von Myopie. Es ist aus der Gleichung d) (pag. 5) ersichtlich, dass mit der

Verkleinerung von F, auch eine Verkleinerung des Bildes verbunden ist. Ein solcher Zustand, bei welchem der Sehact mit einer stärkeren Accommodation, als die für den fixirten Punkt nothwendige, verknüpft ist, kommt in der That bei vielen Personen vor und wurde als Accommodationskrampf oder scheinbare Myopie beschrieben*).

Wir werden später bei der Bestimmung der Refraction mittelst des Augenspiegels kennen lernen, in welcher Weise diese Accommodationsanomalie entdeckt und ihre Stärke bestimmt werden kann.

§ 20. Es erübrigt uns nunmehr noch die Aufgabe, die einzelnen Brechzustände der Augen etwas näher im Detail kennen zu lernen und die Mittel an die Hand zu geben, die verschiedenen Refractionszustände zu erkennen.

Das emmetropische Auge haben wir bisher am besten kennen gelernt und wissen, dass es ein solches ist, welches parallele Lichtstrahlen bei vollkommener Accommodationsruhe auf der Netzhaut zur Vereinigung bringt. Wir haben dasselbe auch das normale Auge genannt und dies mit gutem Recht. Denn ein solches Auge kann nicht nur deutlich in die Ferne sehen, sondern auch vermittelst der Accommodation in alle Entfernungen bis nahe vor dem Auge deutlich sehen. Es frägt sich nun, ob das emmetropische Auge auch wirklich das der grossen Mehrzahl der Menschen ist und die Ametropie gleichsam nur eine Ausnahme von der Regel bildet.

So einfach der Begriff der Emmetropie ist, so wird es dennoch schwer, eine scharfe Grenze zu ziehen zwischen ihr und leichter Myopie und leichter Hypermetropie. Bedenkt man, dass das Auge mit dem contractilen Ciliarmuskel versehen ist, und dass dieser wie jeder andere Muskel seinen normalen Tonus besitzt, dessen Stärke weder in allen Augen gleich, noch uns bekannt ist, so ist es klar, dass ein emmetropisches Auge eigentlich ein schwach hypermetropisches sein könnte, welches durch den Tonus seines Ciliarmuskels zu einem emmetropischen umgewandelt wurde.

Andererseits kann es geschehen, dass sehr schwach myopische Augen mit übernormaler Sehschärfe für emmetropische imponiren. Man sieht also, dass die Grenze der Emmetropie nicht so scharf zu ziehen ist, wie es im ersten Augenblicke scheinen könnte. Stecken wir daher diese Grenzen etwas weiter, so darf ausgesprochen werden, dass mehr

---

*) Sowohl der Ausdruck Accommodationskrampf als auch die Namen scheinbare Myopie, gesteigerte Myopie, die man dieser Accommodationsanomalie beilegte, scheinen mir theils unrichtige, theils unzulängliche Bezeichnungsweisen zu sein. Ich habe schon vor Jahren als einer der ersten, die über diese Anomalie Veröffentlichungen gemacht haben, nachgewiesen, dass dieselbe kein Krampf, sondern nur eine Innervationsanomalie sein könne. Einen Zustand aber, der kein Krampf ist, als solchen zu bezeichnen, ist gewiss ungerechtfertigt. Der Ausdruck „scheinbare Myopie“ ist unpassend, weil eine grosse Anzahl von Personen, die mit diesem Accommodationsfehler behaftet sind, nebst dieser Anomalie auch noch wirkliche Axenmyopie besitzen, welche durch den Accommodationsfehler nur gesteigert erscheint. Den Namen „gesteigerte Myopie“ dürfen wir aber nichtsdestoweniger diesem Zustande nicht beilegen, weil sehr häufig emmetropische und hyperopische Personen in denselben verfallen. Ich bezeichne denselben als Myopia variabilis, eine Bezeichnung, welche in dem Ausdrucke Myopia den factisch bestehenden Brechzustand ausdrückt, und mit dem Worte variabilis eine der auffälligsten Eigenschaften dieses Accommodationsfehlers, nämlich die des Wechsels der Brechkraft, ausdrücken soll.

als die Hälfte der Menschheit, wenigstens im jugendlichen Alter, emmetropischen Bau ihrer Augen besitzt.

Nachdem wir schon früher die Lage des Drehungscentrums, die Grösse des $\sphericalangle \alpha$ und die Abnahme der Accommodationsbreite während der Lebenszeit in emmetropischen Augen erörtert haben, bleibt uns nur noch übrig, die Abnahme der Sehschärfe, die mit dem vorrückenden Lebensalter verknüpft ist, in emmetropischen Augen kennen zu lernen.

Die Erfahrung lehrt nämlich, dass etwa vom 30. Lebensjahre an eine allmälige, aber stetige Abnahme der Sehschärfe sich kundgibt, so dass im Alter von 60 Jahren S etwa $= \frac{14}{20}$ und zu 80 Jahren $\frac{1}{2}$ beträgt. Diese Abnahme ist durch die natürliche, regressive Involution der Organe begründet. Die Veränderungen betreffen fast alle das Auge constituirenden Gewebe und haben nichts gemein mit pathologischen Alterationen, mit welchen sie zwar zuweilen verwechselt werden könnten, von welchen sie aber streng zu sondern sind.

An der Hornhaut bemerken wir relativ die geringsten Veränderungen, denn der hier auftretende Arcus senilis liegt so peripher, dass die von ihm erzeugte Diffusion des Lichtes keinen Einfluss auf den Hindurchtritt der Strahlen und die im Alter verengte Pupille nehmen kann. Dagegen werden die Reflexe von der vorderen und hinteren Fläche der Linse stärker, der Kern der Linse reflectirt etwas gelbliches Licht, wodurch einerseits bewiesen wird, dass die Differenz im Brechungsindex zwischen Kammerwasser und Linse und zwischen Glaskörper und Linse sich vergrössert hat, andererseits dass der Linsenkern eine Sklerose erfahren hat, die der Reinheit der durch die Linse erzeugten Bilder nicht zu Gute kommt. Im Glaskörper, freilich im myopischen Auge in erhöhtem Maasse, vermehren sich die normalen Opacitäten und auch die Netzhaut bietet in ihrer Fasernschichte eine stärkere Trübung dar. Sowie die beschriebenen Veränderungen einen eclatanten Einfluss auf die Sehschärfe nehmen müssen, so lässt auch ein Blick mit dem Augenspiegel jene Klarheit und Frische des Augengrundes vermissen, die das jugendliche Auge in einer der Beobachtung so günstigen Weise zeigt.

§ 21. Wenn wir hier schliesslich noch eines Zustandes gedenken, der auch in nicht emmetropischen Augen aufzutreten pflegt und aus dem Rahmen der physiologischen Anomalien heraustritt, so geschieht dies desshalb, weil seine Diagnose und seine Correction auf optischen Grundsätzen beruhen. Wir meinen die Presbyopie (Pr) oder Presbytie.

Wir haben früher gesehen, dass die Accommodationsbreite mit vorrückendem Lebensalter immer kleiner wird, und zwar desshalb, weil der Nahepunkt des Auges stetig hinausrückt. Dadurch werden die Augen in einem höheren Lebensalter in die Unmöglichkeit versetzt, feinere Gegenstände in der Nähe deutlich zu erkennen. Nun hängt es von der Grösse des Objectes und von der Art der Beschäftigung ab, in welcher Entfernung dieselben noch erkannt werden sollen. Es ist desshalb die Grenze, wo die Fern- oder Weitsichtigkeit (Presbytie) beginnt, schwer zu ziehen.

Es möchte fast scheinen, dass diese Grenze für jede Beschäftigungsart in eine andere Entfernung verlegt werden sollte. Man ist jedoch überein gekommen, dass eine Entfernung von 8″ vom Auge,

welche die normale Nahepunktslage anfangs der 40er Jahre darstellt, eine entsprechende Grenze für den Beginn dieser Anomalie abgebe. Man sollte eigentlich von einer normalen und abnormen Presbytie sprechen und unter ersterer die durch die Erfahrung bekannten Nahepunktslagen über 8″ hinaus in den verschiedenen Lebensaltern verstehen, während die letztere dann vorhanden ist, wenn das Abrücken der Nahepunktsdistanz diese erfahrungsgemäss gewonnenen Grenzen überschreitet.

So gäbe im Alter von 60 Jahren eine Nahepunktsdistanz von 24″ die Grundlage für eine normale Pr, während dieselbe Nahepunktsdistanz in einem Alter von 45 Jahren eine abnorme Pr genannt werden müsste. Um einen Ausdruck für Pr zu finden, braucht man nur den reciproken Werth des gefundenen Nahepunktes von $\frac{1}{8}$ abzuziehen. Es wäre dann in unserem ersten Beispiele Pr $= \frac{1}{8} - \frac{1}{24} = \frac{1}{12}$, in unserem zweiten Beispiele ebenfalls $\frac{1}{12}$. Aus diesem Umstande ist schon zu erkennen, dass die Bezeichnungsweise der Presbyopie eine nichts weniger als correcte genannt werden muss. Viel vortheilhafter wäre es, eine abnorme, nicht dem Alter entsprechende Nahepunktslage in solcher Weise zu bezeichnen und die dem Alter entsprechende Abnahme der Accommodationsbreite durch den Rest der verbliebenen A zu kennzeichnen. In practischer Beziehung, wo es sich um die Correction dieses Accommodationsfehlers handelt, sind entsprechend dem unsicheren Werthe der Pr auch verschiedene Grundsätze ausgesprochen worden.

Ich halte es für das Vortheilhafteste, die Presbyopie entsprechend der Beschäftigung zu corrigiren und dabei zu achten, dass dieselbe nicht in dem durch die Brille näher gerückten Nahepunkte ausgeführt wird. Handelt es sich um das Lesen mittlerer Druckschrift, dann braucht eine Nahepunktdistanz von 10″ $\left(\text{Pr}\,\frac{1}{40}\right)$ nicht corrigirt zu werden, da ein genügend scharfes Auge noch Jäger Nr. 1 in 12—15″ zu lesen vermag. Rückt aber der Nahepunkt etwa nach 12″ hinaus, so werden viele Augen gezwungen, in diesem Nahepunktsabstande zu lesen, was auf die Dauer nicht vertragen wird. Hieraus folgt die Regel, den Presbyopen für Lesen und Schreiben auf 10″ zu corrigiren. Nur eine Rücksicht muss hierbei festgehalten werden, die Gläser dürfen nämlich die Stärke der negativen relativen Accommodationsbreite nicht überschreiten, da sonst in dem durch die Gläser erworbenen Nahepunkte undeutlich gesehen werden möchte.

Würde z. B. im hohen Alter der Nahepunkt jenseits 60″ liegen, so dass die Reduction auf 10″ eine Brille stärker als $\frac{1}{12}$ erfordern würde, so müsste die Reduction nicht auf 10″, sondern für einen weiter vom Auge entfernten Punkt erfolgen, auf welchen der Nahepunkt durch das Glas $\frac{1}{12}$ gebracht wird.

Der allgemeinen Annahme entsprechend werden auch Myope niedriger Grade, wenn auch in einem späteren Alter und Hypermetrope

wegen der stärkeren Ansprüche, die solche Augen an die Accommodation stellen, früher als emmetropische Personen presbyopisch. Meiner Erfahrung nach ist das über Hypermetropen Behauptete unrichtig, im Gegentheil behalten höhergradige Hypermetrope viel länger als Emmetrope die Fähigkeit, mittlere Druckschrift in einer Entfernung von 10--12″ zu lesen. Nur treten hierbei recht bald asthenopische Beschwerden auf. Dass die Accommodation dabei keine vollkommene sei, erhellt aus dem Umstande, dass die kleinste Druckschrift gar nicht gelesen werden kann. Sicher ist es, dass mittlerer Druck in einer Lebenszeit und in einer Entfernung gelesen werden kann, in welcher dem Emmetropen solchen Druck zu entziffern unmöglich ist. Mag die Ursache darin liegen, dass Hypermetrope gewöhnt sind, Zerstreuungskreise zu „verarbeiten", oder darin, dass die Innervation des Ciliarmuskels bei Hypermetropen eine energischere ist, jedenfalls ist die angeführte Thatsache unanfechtbar.

Das hypermetropische Auge ist, wie wir wissen, ein solches, dessen Netzhaut vor dem Brennpunkt des dioptrischen Apparates des Auges liegt. Strahlen, welche auf einer so gelagerten Netzhaut zur Vereinigung kommen sollen, müssen convergent auf die Hornhaut fallen, derart, dass sie nach einem hinter dem Auge gelegenen Punkte hinzielen. Dieser Punkt ist bekanntlich der Fernpunkt des hypermetropischen Auges. Sollen parallele Strahlen auf der Netzhaut zur Vereinigung gelangen, dann müssen sie derart convergent gemacht werden, dass sie sich in Fernpunkte vereinigen. Diese Convergenz wird im accommodationslosen hyperopischen Auge durch eine vor das Auge gesetzte Linse hervorgebracht, deren Brennweite um die Distanz zwischen Knotenpunkt und Glas grösser ist als der Abstand des Fernpunktes vom Knotenpunkte. Diese Convexlinse kann durch Accommodation ersetzt werden, nur ist der Brechwerth der hierzu erforderlichen Accommodation etwas grösser als der der Linse, weil die Hilfslinse, durch welche wir die Accommodation ausdrücken können, ungefähr im Knotenpunkte selbst ihren Sitz hat. Es wird desshalb die Stärke der Accommodation, welche genügt, um eine Hypermetropie bestimmten Grades für die unendliche Ferne zu corrigiren, durch denselben Brechwerth wie die Hypermetropie selbst ausgedrückt.

Nehmen wir an, was für jugendliche Augen in der That zutrifft, dass die Accommodationsbreite bei allen Brechzuständen des Auges dieselbe ist, dann muss der Nahepunkt des Hypermetropen weiter hinausliegen, als der des Emmetropen, da doch die Accommodationsquote, die dazu verwendet wird, um hypermetropische Augen für die unendliche Ferne einzustellen, von der Accommodationsbreite = 1 abgezogen werden muss.

Handelt es sich z. B. um einen Hypermetropen von $\frac{1}{12}$, d. h. um ein solches Auge, dessen negativer Fernpunkt 12″ hinter dem Knotenpunkte liegt, wird ferner die Accommodationsbreite mit dem Werthe von $\frac{1}{3}$ angenommen, dann braucht das Auge $\frac{1}{A} = \frac{1}{12}$, d. i. $\frac{1}{4}$ A in Thätigkeit zu setzen, um sich für die unendliche Ferne einzustellen. Die jetzt verfügbare Accommodationsbreite ist nur $\frac{3}{4}$ der ganzen, oder,

was dasselbe ist, das Auge hat nur noch $\frac{1}{A} = \frac{1}{4}$ zur Verfügung. Der Nahepunkt liegt demnach 4″ vor dem Auge $\left(\text{da } \frac{1}{4} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{4}\right)$, während das emmetropische Auge mit $\frac{1}{A} = \frac{1}{3}$ seinen Nahepunkt in 3″ hatte.

Wird die gesammte H durch die Accommodation für die Ferne corrigirt oder, wie man sich ausdrückt, „gedeckt", so verhält sich das Auge für die Ferne wie ein emmetropisches. Kann kein Theil der verwendeten Accommodation durch ein Convexglas ersetzt werden, so besteht nach Donders, latente Hypermetropie, und die totale Hypermetropie ist latent.

Kann aber ein Theil oder die gesammte, für die Ferne aufzuwendende Accommodation durch ein Convexglas ersetzt werden, dann besteht manifeste H. Die totale H kann also ganz latent oder ganz manifest oder es kann ein Theil latent und der andere manifest sein.

Die Hypermetropie wird von Donders ferner noch eingetheilt in facultative, relative und absolute H.

Die facultative H ist dann vorhanden, wenn mit oder ohne Convexgläser gleich deutlich in die Ferne gesehen wird.

Hierbei ist es gleichgültig, ob ein Theil der H latent bleibt oder nicht.

Die relative H ist dann vorhanden, wenn zwar bei parallelen Gesichtslinien undeutlich in die Ferne gesehen wird, d. h. die Accommodation bei parallelen Gesichtslinien zu wenig stark innervirt wird, um die Hypermetropie zu decken, aber die Deutlichkeit des Sehens, d. i. die nothwendige Accommodation, erreicht wird, sowie die Convergenz sich bis auf einen gewissen Grad vermehrt.

Letzteres ist jedoch unter gewöhnlichen Umständen nicht möglich, da bei stärkerer Convergenz der Gesichtslinien der Fixationspunkt für die Augen verloren geht. Setzen wir aber Prismen von einem bestimmten Winkelwerthe derartig vor die Augen, dass ihre brechende Kante gegen die Nase gerichtet ist, dann convergiren die Augen, ohne den Fixationspunkt zu verlieren, und es kann die nothwendige Accommodation für die Ferne aufgebracht werden.

Dasselbe soll nach Donders erreicht werden, wenn nur ein Auge willkürlich nach innen convergirt, während das andere die Fixation beibehält.

Die absolute H ist jene Form, bei welcher die Accommodation bei parallelen Gesichtslinien auch durch Zuhilfenahme von adducirenden Prismen nicht imstande ist, die Hypermetropie für die Ferne zu corrigiren, wo also stets, sowohl in die Ferne als in die Nähe, undeutlich gesehen wird.

Hierbei ist die ganze H manifest, bleibt es durch das ganze Leben und vergrössert sich nur im höheren Alter durch das Flacherwerden der Linse.

Es ist selbstverständlich, dass das Gebiet der relativen Accommodationsbreite bei Hypermetropie ganz anders als bei Emmetropie gelagert ist.

In einem Falle von facultativer Hypermetropie betrug bei parallelen Gesichtslinien A, etwa $\frac{1}{12}$, wovon $\frac{1}{20}$ positiv war.

Der Nahepunkt der binoculären Accommodationsbreite liegt bei einer Convergenz auf 10″, von da ab wird die relative Accommodationsbreite negativ, und bleibt es unter continuirlicher Verringerung bis zu einer Convergenz auf etwa 2 2/5″.

Bei der relativen und der absoluten Hypermetropie ist die relative Accommodationsbreite im ganzen Bereiche des Sehens negativ, d. h. es kann nur mit bestimmten schwächeren und stärkeren Convexgläsern in jedem Punkte deutlich gesehen werden. Der Unterschied zwischen den beiden Formen der H besteht nur darin, dass bei der absoluten H die negative A, weiter hinaus im negativen Accommodationsbereiche liegt, als bei der relativen, d. h. dass die schwächsten Gläser, mit welchen für einen bestimmten Convergenzpunkt bei absoluter H deutlich gesehen wird, stärker sind als die stärksten, mit welchen bei relativer H bei derselben Convergenz noch deutlich gesehen wird, und endlich, dass der absolute Nahepunkt bei relativer H etwa in 7″ vor dem Auge liegt (bei einer Convergenz auf 2 1/2″), während der absolute Nahepunkt bei absoluter H noch immer negativ bleibt, d. h. dass bei stärkster Anspannung der Accommodation und stärkster Convergenz das deutliche Sehen in die Ferne noch nicht erreicht wird.

Diese verschiedenen Formen der H sind nicht so aufzufassen, als beständen sie von der ersten Jugend durch das ganze Leben fort. Es ist im Gegentheil sehr selten, dass z. B. absolute Hypermetropie schon in der Kindheit anzutreffen ist. Da auch im hypermetropischen Auge, wie in allen anderen das Alter die Accommodationskraft herabsetzt, und die aufgestellten Formen nur zum Theile von der Höhe der H, zum Theile aber von der Energie der Accommodation abhängig sind, so sehen wir sie bei etwas grösseren Graden von H im Verlaufe des Lebens nach und nach eintreten. Während in einem Alter, wo das Kind schon den Anforderungen der Untersuchung Rechnung tragen kann, die H noch facultativ ist, bemerken wir bei Individuen in den 20er Jahren, dass die Accommodation für den jeweiligen Convergenzpunkt nicht mehr ausreicht, und dass bei genauer Fixation in der Ferne Undeutlichsehen und Ermüdung eintritt (relative Hypermetropie), dass endlich in den 50er Jahren die Sehschärfe für die Ferne sinkt, und in der Nähe nur gröbere Schrift und diese ohne Ausdauer erkannt wird, die H ist absolut geworden.

Betrachten wir nun die Gründe für die Entstehung der Hypermetropie, so finden wir, wenn wir die Aphakie und die als Krümmungshypermetropie schon früher angeführten Verhältnisse ausnehmen, in der Regel eine Verkürzung der Längsaxe des Bulbus. Der Bulbus ist zwar in allen Dimensionen, vornehmlich aber von vorn nach hinten, kleiner. Ein Horizontalschnitt des Auges gibt eine Ellipse mit sagittaler, kleiner Axe, während ein Frontalschnitt im Aequator einen Kreis gibt. Die Hornhaut und die anderen Trennungsflächen der brechenden Medien zeigen sich nicht verändert in ihrer Krümmung, und die Cardinalpunkte haben ihre normale Lage beibehalten. Dennoch zeigt das hypermetropische Auge ein ihm eigenthümliches Aussehen. Die Vorderkammer ist enger, weil die Iris mehr nach vorn gelagert ist, die Sclerotica zeigt in der Gegend des Aequators, von der temporalen Seite gesehen, eine rasch nach hinten und einwärts sich wendende Krümmung. Aber auch die Conformation des Gesichtes betheiligt sich

an dem Zurückbleiben in der Bildung, indem die Orbitalränder und die Nase flacher liegen und auch der Vorsprung der Backenknochen mehr zurücktritt. Die Augenhöhlen sind kürzer und treten mehr aus einander.

Vor Allem bedingt aber die Vergrösserung des Winkels α, wobei die Gesichtslinien weiter nach der Nasenseite die Hornhaut schneiden, ein bedeutendes Divergiren der Hornhautaxen, wodurch ein scheinbarer Strabismus divergens die Physiognomie des hypermetropischen Auges so auffallend macht. Der Grund für die Vergrösserung dieses Winkels ist leicht einzusehen, denn selbst wenn die Entfernung zwischen dem Orte, wo die Hornhautaxe die Netzhaut trifft, bis zur Mitte des gelben Fleckes dieselbe wäre, wie im emmetropischen Auge, so müsste bei Verkürzung der Augenaxe der zwischen ihr und der Gesichtslinie liegende Winkel grösser werden. Aber diese Entfernung ist im hypermetropischen Auge wegen des grösseren Breitenwachsthums des Auges grösser als im emmetropischen, wodurch selbstverständlich sich die Grösse des Winkels noch weiter vermehren muss. Winkel α beträgt auch im hypermetropischen Auge $7^0\ 8'$, während er im emmetropischen Auge $5^0\ 8''$ betrug und in myopischen Augen erheblich kleiner ist. Stehen in hypermetropischen Augen die Gesichtslinien parallel, so muss wegen der Grösse dieser Winkel eine starke Divergenz der Hornhautaxen resultiren, wodurch den hypermetropischen Individuen ein eigenthümlicher Gesichtsausdruck aufgeprägt wird. Auch der von Johannes Müller entdeckte sogenannte Strabismus incongruus scheint auf dieser Eigenthümlichkeit des hypermetropischen Auges zu beruhen und ist wahrscheinlich darin begründet, dass auf einem Auge der Winkel α viel grösser ist als auf dem anderen.

Auch der Drehpunkt liegt im hypermetropischen Auge anders als im emmetropischen. Wir haben schon früher gesehen, dass er im Minimum 12·32 mm hinter dem Hornhautscheitel zu liegen komme, während er im emmetropischen Auge 13·557 mm hinter dem Hornhautscheitel liegt. Dadurch ist aber bei gleicher Zugkraft der Muskeln eine grössere Beweglichkeit des vorderen Augapfelabschnittes gegeben.

Endlich ist auch die Asymmetrie der Hornhautkrümmung in hyperopischen Augen eine sehr häufige Complication, und hängt hiervon wenigstens theilweise die Verminderung der Sehschärfe in höhergradig hypermetropischen Augen ab. Diese verminderte Sehschärfe hat vielleicht auch in Anomalien der Linsenstructur und des percipirenden und leitenden Nervenapparates ihren Grund und erschwert zuweilen in beträchtlicher Weise die Eruirung des Grades der H.

§ 22. Wenn wir den Grad einer Ametropie untersuchen wollen, so beschreiten wir vor Allem den Weg, die Function des Auges zu prüfen. Dies können wir am sichersten, wenn wir die Sehschärfe des Auges ohne und mit den die Ametropie corrigirenden Gläsern feststellen.

Haben wir es mit H zu thun, was sich theils durch die Anamnese und das Aussehen des Auges, theils im Beginne der Untersuchung sogleich ergibt, so muss S für jedes einzelne Auge an den Snellen'schen Tafeln in einem gut erleuchteten Zimmer geprüft werden. Wird mit den nunmehr vorgelegten schwächsten Convexgläsern $\left(+\frac{1}{80} = 0{\cdot}5\ D\right)$ nicht schlechter gesehen als mit freiem Auge, dann ist H vorhanden.

Schreitet man nun in der Wahl der Gläser weiter, so ist das stärkste Convexglas, welches die Sehschärfe nicht verringert, dasjenige, welches die Hm (Hypermetropia manifesta) repräsentirt. Doch müssen wir bedenken, dass in diesem stärksten Convexglase nicht nur die Correction für die fehlende oder augenblicklich entspannte Accommodation liegt, sondern dass die Accommodation auch weiter entspannt werden kann über den dem Convergenzpunkte entsprechenden Grad hinaus, d. h. dass wir in dem Correctionsglase den negativen Theil von $A_{,}$ (relative Accommodationsbreite) corrigiren. Es ist leicht zu erkennen, welcher Antheil des Glases den Theil der Accommodation corrigirt, der bei parallelen Gesichtslinien zum deutlichen Sehen mangelt, indem eben bis zu einer bestimmten Stärke der Gläser die Sehschärfe steigt, während jene stärkeren Gläser, bei welchen die S weder steigt noch sinkt, den negativen Theil der Accommodationsbreite ausmachen. Nun kommt es aber zuweilen vor, dass eine Reihe von Convexgläsern, von den schwächsten angefangen, S weder verbessert noch verringert. Dies kann darin seinen Grund haben, dass H facultativ ist, so dass die erreichbar beste Sehschärfe auch ohne Gläser vorhanden ist.

Sehr häufig, besonders bei Verringerung der S, ist der Grund davon im gleichzeitig vorhandenen Astigmatismus (siehe später) gelegen. In einer Reihe von Fällen jedoch kann auch diese Ursache nicht nachgewiesen werden und bleibt uns der Grund unbekannt. Wichtig ist es, zu wissen, dass schwache Concavgläser, besonders bei niedrigen Graden der H und in jugendlichem Alter, die S häufig nicht verschlechtern, ja sogar verbessern. Dies rührt von der durch die stärkere Accommodation herbeigeführte Pupillenverengerung her, bei welcher wie durch ein stenopäisches Loch deutlicher gesehen wird. Mit der Eruirung der Hm haben wir aber noch nicht die totale H erkannt, ausgenommen in dem Falle, wo im hohen Alter die totale H manifest geworden ist. Um diese festzustellen, müssen wir die Refraction mit dem Augenspiegel untersuchen, und werden wir dieser Untersuchung einen späteren Paragraphen widmen.

Vor etwa zwei Jahrzehnten, wo die Untersuchung der Refraction mit dem Augenspiegel noch vielen Zweifeln und vielleicht auch einem gewissen Grade von Ungeübtheit begegnete, war diese Untersuchungsmethode noch nicht Gemeingut der Augenärzte geworden, und mussten sich Leidende und Aerzte dazu bequemen, dass durch ein- oder mehrmalige Application von mydriatischen Mitteln die Lähmung des Accommodationsmuskels herbeigeführt werde.

Ist die Accommodationslähmung auf diese Weise erreicht, so gibt das stärkste Convexglas, mittelst welchem am deutlichsten in die Ferne gesehen wird, den Grad der totalen Hypermetropie an.

Hatte bei der zuerst erwähnten Prüfung auch das allerschwächste Convexglas eine Verschlechterung des Sehens für die Ferne bewirkt, dann ist das Vorhandensein von H noch nicht ausgeschlossen, wenn das Individuum jung ist. Wir haben schon früher gelernt, dass die totale H latent bleiben, d. h. dass bei parallelen Gesichtslinien die Accommodation die Hypermetropie verdecken kann. Diese Accommodationsinnervation ist mit der parallelen Lage der Gesichtslinien so innig verknüpft, dass das Vorsetzen eines Convexglases an diesem Zusammenhange nichts ändert und das Auge ebenso schlecht durch das Glas sieht,

wie ein emmetropes. Um in solchen Fällen der Wahrheit auf die Spur zu kommen, müssen wir bei grösserer Convergenz die Augen untersuchen. Ist bei parallelen Gesichtslinien die H auch latent geblieben, so wird ein Theil bei einer Convergenz auf z. B. 20″ sicher manifest sein. Wir erkennen dies daran, dass nunmehr schwache Convexgläser die Sehschärfe vermehren.

Wohl können auch emmetropische Augen mit Convexgläsern bestimmter Stärke ebenso deutlich wie ohne dieselben in einer Entfernung von 20″ sehen, da sie doch einen negativen Theil der relativen Accommodationsbreite besitzen, aber eine Verbesserung der Sehschärfe wird in diesem Falle nur bei Hypermetropen erzielt. Man könnte vielleicht glauben, dass die Vergrösserung des Bildes durch die Convexgläser an der besseren Distinction der Buchstaben, die man zu lesen gibt, ihren Theil habe; aber abgesehen davon, dass Vergrösserung und Deutlichkeit nicht identisch sind, indem man grösser und undeutlicher und kleiner und deutlicher sehen und unterscheiden kann, wird durch Convexgläser, welche im vorderen Brennpunkte des Auges sitzen, gar keine Vergrösserung hervorgerufen.

Wenn man also auch bei latenter H den Grad derselben durch functionelle Prüfung nicht zu bestimmen imstande ist, so kann man deren Existenz dennoch in erwähnter Weise mit Sicherheit constatiren.

§ 23. Bevor wir zur Erörterung der Myopie übergehen, müssen wir der Eigenthümlichkeit im Baue des Ciliarkörpers bei Ametropie gedenken.

Der Ciliarkörper eines emmetropischen Auges ist im Ganzen dreieckig. Die Basis dieses Dreieckes ist dem Aequator der Linse zugekehrt, die Spitze desselben hängt mit der Chorioidea zusammen. Der vordere basale Winkel dieses Dreieckes ist mit der Corneo-Scleralgrenze verwachsen, und von dort ziehen in einem seichten, nach hinten concaven Bogen die meridionalen oder Längsfasern zu einem immer schmäler werdenden Bündel sich verjüngend zur hinteren Anheftungsstelle. Am hinteren basalen Winkel ist der circuläre Theil des Ciliarkörpers, von den Längsfasern durch Bindegewebe getrennt, im Kreise angeordnet. Das hypermetropische Auge zeigt nun die eigenthümliche Abweichung von diesem Baue, dass der hintere basale Winkel besonders mächtig ausgebildet ist, indem eine viel grössere Menge von Circulärfasern daselbst sich anhäuft. Die Längsfasermusculatur hat dagegen in ihrer Masse abgenommen und erscheint wie atrophirt.

In myopischen Augen finden wir im Gegensatze hierzu eine bedeutende Hypertrophie der Längsfaserpartie, während die Circulärfasern fast gänzlich verschwunden sind. Dadurch geht die dreieckige Gestalt des Muskels verloren und dieser hat eine spindelförmige Form. Diese Veränderungen des Ciliarmuskels bei den ametropischen Refractionszuständen stehen theilweise in Uebereinstimmung mit den Aufgaben, welche der Accommodation bei denselben zufallen.

Bei der Hypermetropie sehen wir jenen Theil des Muskels, welcher am mächtigsten auf die Entspannung der Zonula einwirken muss, im hohen Grade ausgebildet, entsprechend dem beständigen Accommodationsbedürfnisse, dem solche Augen fortwährend unterworfen sind.

Im myopischen Auge, in welchem die Accommodation fast gar keine Rolle spielt, sehen wir auch jene Partie, durch welche die Accommodation am mächtigsten gefördert wird, atrophirt.

Die Ursache der Verdünnung der Längsfasern bei Hypermetropie und die der Hypertrophie dieser Fasern bei Myopie ist hingegen noch gar nicht aufgeklärt, doch scheint es, dass diese Verhältnisse noch bestimmt sind eine grosse Rolle in unseren zukünftigen Anschauungen über die Accommodation zu spielen.

§ 24. Die Myopie ist, wie wir schon gesehen haben, jener Refractionszustand, bei welchem die Netzhaut hinter dem Brennpunkte des dioptrischen Systemes des Auges liegt.

Nur divergente, von einem bestimmten endlichen Punkte herrührende Strahlen können sich auf der Netzhaut des myopischen Auges wieder in einem Punkte vereinigen. Parallele Strahlen vereinigen sich desshalb vor derselben im Brennpunkte und bilden nach der Ueberkreuzung auf ihr einen Zerstreuungskreis.

Dasjenige Concav- oder Zerstreuungsglas, welches die parallelen Strahlen so divergent macht, als kämen sie vom Fernpunkte her, bringt sie auf der Netzhaut zur Vereinigung und macht das Auge zu einem emmetropischen. Die Brennweite eines solchen Concavglases um die Distanz zwischen Glas und Knotenpunkt vermehrt gibt die Brennweite jener Linse an, welche den Brechwerth der Myopie ausmacht. Schwächere, solche Gläser rücken den Fernpunkt hinaus, machen das Auge somit zu einem schwächer myopischen, ohne es zur Emmetropie zu corrigiren.

Ist z. B. der Fernpunkt in 8″ gelegen, und setzen wir ein Glas $-\frac{1}{16}$ vor das Auge, so müssen wir den Brechwerth der Myopie und des Glases von einander abziehen, um den neuen Fernpunkt zu finden, auf welchen das Auge nunmehr eingestellt ist. Er liegt $\left(\text{da } \frac{1}{8} - \frac{1}{16} = \frac{1}{16}\right)$ in 16″. Setzen wir aber ein stärkeres Concavglas, als es der Brechwerth der Myopie ist, vor das Auge, so verwandeln wir dasselbe in ein hypermetropisches, indem sodann nur convergent auf das Glas auffallende Strahlen durch dasselbe so gebrochen werden, als kämen sie vom Fernpunkte des myopischen Auges her. Die Stärke dieser Hypermetropie berechnen wir wieder aus der Differenz zwischen dem für parallele Strahlen corrigirenden und dem stärkeren Glase.

Setzen wir z. B. bei M $\frac{1}{8}$ Glas $-\frac{1}{6}$ vor das Auge, so wird das aus dem Auge und diesem Glase bestehende optische System ein hypermetropisches sein, und die erzeugte H wird $\left(\text{da } \frac{1}{6} - \frac{1}{8} = \frac{1}{24}\right)$ $\frac{1}{24}$ sein. Das myopische Auge müsste sodann, um diese Hypermetropie zu decken, $\frac{1}{24}$ A aufwenden, damit es in die Ferne deutlich sehe.

Das Accommodationsgebiet des myopischen Auges liegt in einem anderen Bereiche, als das der anderen Refractionszustände. Dadurch, dass die Accommodation bis zur Convergenz auf den Fernpunkt in Ruhe bleibt, muss auch das Bereich der Accommodationsbreite dem Auge näher rücken, wenn jene, wie es in jugendlichen Augen der Fall ist, dieselbe Grösse hat, wie in emmetropischen und hypermetropischen

Augen. Liegt z. B. der Fernpunkt in 8″, so liegt der Nahepunkt $\left(\text{da } \frac{1}{8} + \frac{1}{3} = \frac{1}{2^2/_{11}}\right)$ in $2^2/_{11}$″ vor dem Knotenpunkte des Auges.

Auch der relative Accommodationsbereich liegt dementsprechend ganz anders als im emmetropischen Auge: bis zum binoculären Fernpunkte ist $\frac{1}{A_1}$ selbstverständlich nur positiv. Sie beträgt bei einer M $\frac{1}{5}$ für parallele Gesichtslinien (nach Correction der Myopie) etwa $\frac{1}{20}$, steigt aber in ihrer Grösse fortwährend, bis der Convergenzpunkt im Fernpunkte liegt, wo sie etwa $\frac{1}{10}$ beträgt. Von hier aus bis zu einer Convergenz auf $2^2/_3$″ schliesst sich ihr ein negativer Theil an, der bei einer Convergenz auf 3″ sogar grösser ist, als der positive.

Im Ganzen genommen sinkt sie aber vom Fernpunkte bis zum Nahepunkte und ist noch in dieser Nähe vor dem Auge über $\frac{1}{24}$ (positiv), so dass es gar keinen binoculären Nahepunkt der Accommodation gibt. Donders sagt demnach mit Recht, dass das Sehen der Myopen durch die Grenzen der Convergenz und nicht durch die Grenzen der Accommodation in der Nähe beschränkt ist.

Donders theilt die Myopie in stationäre, zeitlich progressive und bleibend progressive ein.

Die stationäre Form, bei niedrigen und mittleren Graden vorkommend, ist nicht so aufzufassen, als ob der Fernpunkt vom Beginne an bis an das Lebensende ein und dieselbe Lage beibehalten würde. Es steigt vielmehr die Myopie immer etwas im Beginne, bis sie etwa um das zwanzigste Lebensjahr herum stationär zu bleiben pflegt.

Die zeitlich progressive Form ist jene, bei welcher die Myopie etwa bis zum dreissigsten Lebensjahre fortwährend im Steigen begriffen ist, einen bedeutend hohen Grad erreicht, ohne im späteren Verlaufe des Lebens sich weiter zu vermehren. Diese Fälle bezeichnet Donders selbst als seltene.

Die bleibend progressive Myopie ist jene, bei welcher der Grad derselben in beständigem Zunehmen begriffen ist und selbst im höchsten Alter noch weiter Fortschritte macht.

Diese Formen der Myopie dürfen jedoch nicht so aufgefasst werden, dass sie immer streng in den ihnen gesteckten Grenzen bleiben. So kann eine lange Zeit stationär gebliebene Myopie unter ungünstigen Einflüssen progressiv werden und andererseits eine bis zum höheren Alter immer fortschreitende Myopie unter günstigen Verhältnissen bis an das Lebensende auf derselben Stufe stehen bleiben. Wenn wir die näheren und entfernteren Ursachen der Entstehung und des Fortschrittes der Kurzsichtigkeit ins Auge fassen, so ist es sicher, dass die Myopie aus der Verlängerung der Augenaxe hervorgehe. Diese Verlängerung der Bulbusaxe ist gleichzeitig mit einer Ausdehnung und Verdünnung der Sclera am hinteren Pole gepaart. Man hat einerseits als Ursache für diese Ausdehnung eine noch nicht näher bestimmte hereditäre Prädisposition angenommen. Sicher ist es, dass in einer übergrossen Anzahl von Fällen von wirklicher Myopie eines der beiden

Eltern ebenfalls kurzsichtig waren, und dass gewöhnlich auch mehrere Geschwister mit Myopie behaftet sind. Andererseits kennen wir mehrere Momente, welche theils mit Sicherheit, theils mit Wahrscheinlichkeit das Entstehen von Myopie oder wenigstens die Ausbildung der Prädisposition beeinflussen.

Das Wichtigste dieser Momente ist die Accommodation. Wenn auch der Zusammenhang zwischen angestrengter Accommodation und dem Entstehen der Myopie in seinen ursächlichen Verhältnissen noch wenig aufgedeckt ist und die nächstliegende Vermuthung, dass die bei der Accommodation eintretende Formveränderung der Linse eine gewisse Stabilität erlange, entschieden von der Hand zu weisen ist, wenn vielmehr die Ausdehnung des hinteren Augenpoles mit der Accommodation in einen Causalnexus zu bringen ist, und dieser nothdürftig in der Steigerung des intraoculären Druckes und in der Spannung der inneren Augenhäute gefunden werden wollte, so bestehen doch unumstössliche Thatsachen, dass die Accommodation mit der Entstehung der Kurzsichtigkeit sich im Zusammenhange befinde.

Es ist nämlich aus einer übergrossen Zahl von Massenuntersuchungen, namentlich in Mittelschulen und vornehmlich in Gymnasien bis zur Evidenz sicher gestellt worden, dass die Kurzsichtigkeit von der niedrigsten bis zur höchsten Klasse fast gesetzmässig an Zahl zunimmt. Während in der ersten Klasse etwa 12—13% sämmtlicher Schüler myopisch ist, steigt das Verhältniss in der höchsten Klasse auf 70—80%. Allerdings hat man bei den meisten dieser Untersuchungen ein wichtiges Moment ausser Acht gelassen, nämlich jenes, die Schüler, die an Myopia variabilis leiden (siehe oben), aus der Zahl der Myopen auszuscheiden. Erfreulicher Weise geht ein Theil dieser Gymnasialmyopien im fortschreitenden Lebensalter und bei entsprechender Wahl des Lebensberufes gänzlich oder theilweise zurück, aber die Zahl der bleibend Myopischen, namentlich in den gelehrten Berufsarten, ist noch immer eine ganz enorme.

Allerdings ist hier ein zweites Moment zu beachten, auf welches namentlich Donders grossen Nachdruck legt, d. i. die Convergenz der Gesichtslinien. Dieser Forscher glaubt nämlich, aus dem Drucke, den die äusseren Muskeln auf das Auge ausüben, aus der durch die Convergenz nothwendig gewordenen, vorn übergebeugten Kopfhaltung und aus der sich an diese anschliessenden Congestion den wichtigsten Grund für die Ausdehnung des Augapfels nach hinten ableiten zu können. So einleuchtend dieser Causalnexus wäre, so setzt er doch schon das Bestehen eines höheren Grades von Kurzsichtigkeit voraus. In jenen Jahren jedoch, in welchen die Schüler an die Mittelschulen kommen, ist die Kurzsichtigkeit eine niedriggradige und desshalb die Convergenz und die Körperhaltung eine entsprechende, so dass weder die eine noch die andere zur Weiterentwicklung der Kurzsichtigkeit beitragen könnte, von den Fällen zu schweigen, welche erst in der Schule schwach myopisch zu werden beginnen. Allerdings herrschen in den Schulen, besonders in den älteren, gewisse schädliche Verhältnisse, die, von der modernen Hygiene aufgedeckt, immer mehr in der Neuschule verschwinden. Es sind dies unzulängliche Beleuchtung, unzweckmässige Subsellien, kleiner und schlechter Druck der Lehrbücher und die Ueberbürdung der Schüler mit Hausaufgaben. Schlechte Beleuchtung und

Schulbänke, die dem Alter der Schüler nicht entsprechen, sowie der undeutliche Druck nehmen gleichmässig Convergenz und Accommodation in Anspruch, und erst, wenn alle schädlichen Elemente werden eliminirt sein, wird sich entschiedener bestimmen lassen, ob die beständige Accommodationsanspannung oder die übergrosse Convergenz Schuld an dem Uebel trage.

v. Graefe hat auf eine andere Ursache der Weiterentwickelung der Kurzsichtigkeit hingewiesen. Es ist nämlich mit Kurzsichtigkeit meistens sogenannte Insufficienz der M. r. interni (siehe später) gepaart. Diese Insufficienz erfordert eine stärkere Innervation der Interni bei jedem Convergenzgrade, als sie bei normalen Muskeln nöthig ist. Innervation der Interni ist aber der Innervation der Accommodation coordinirt, und mit steigender Accommodation auch eine grössere Annäherung an das fixirte Object verknüpft. Hieraus aber entsteht im fehlerhaften Cirkel wieder eine Vermehrung der Insufficienz und so führt diese durch Accommodationserhöhung zur Vermehrung der Myopie. Das Wachsen der Insufficienz geht jedoch so allmälig von statten, dass dem Bewusstsein hinlänglich Zeit zur Uebung gelassen ist, um eine dem Convergenzgrade nicht entsprechende, erhöhte Innervation der Interni mit einer dem Convergenzpunkte angepassten, also geringeren Accommodationsquote verbinden zu lernen, was schon aus dem Umstande mit Bestimmtheit erhellt, dass eine Täuschung über die Tiefenlage, ein Hereinrücken der Objecte niemals beobachtet wurde, eine Gesichtstäuschung, die doch in dem Falle ein nothwendiges Postulat wäre, wenn Innervation der Interni und Bewusstsein der Convergenz sich nicht in Uebereinstimmung befänden.

Auf ein viertes Moment bei der Entstehung der Kurzsichtigkeit wurde vor Kurzem aufmerksam gemacht. Es lehrte nämlich die Beobachtung, dass der Zwischenscheidenraum in höhergradig myopischen Augen sich mehr oder weniger weit zwischen die Lamellen der Sclerotika am hinteren Augenpole nach aussen erstrecke, und es wurde hieraus der Schluss gezogen, dass im myopischen Auge bei stärkerer Einwärtswendung ein Zug am hinteren Pole durch den Sehnerven entstehen könne, welcher ersteren mechanisch nach hinten und aussen zerrt.

Aber auch gegen diese Theorie muss eingewendet werden, dass dieselbe schon das Bestehen höherer Kurzsichtigkeit und folglich auch stärkerer Convergenz voraussetzt, und ebenso wie die Convergenztheorie die ersten Anfänge der Myopie nicht erklären kann.

Das myopische Auge ist dem äusseren Ansehen nach vielleicht noch besser charakterisirt als das hypermetropische. Vor Allem treten bei höher gradiger Myopie die Bulbi stärker aus der Augenhöhle hervor, wegen der aus dem Wachsthum des Auges entstehenden Raumbeengung in der Orbita. Dieses Flachliegen oder Glotzen des Auges fällt sofort auf, namentlich wenn eines der beiden Augen stärker myopisch und desshalb stärker hervorgetreten ist. Die Vorderkammer des myopischen Auges ist gewöhnlich tiefer, der Iriswinkel stark nach hinten gezogen. Die Hornhaut erscheint desshalb convexer, die Pupille ist meist weiter, besonders aber ist es die Lage der Gesichtslinien zur Hornhautmitte, welche die Physiognomie des Kurzsichtigen zu einer eigenthümlichen macht. Der Winkel α ist nämlich sehr klein, die Gesichtslinie fällt zuweilen mit der Hornhautaxe zusammen, ja, der Winkel α kann sogar

negativ werden, d. h. die Gesichtslinie schneidet die Hornhaut in ihrer temporalen Hälfte. Hiedurch wird bei Convergenz der Gesichtslinien eine Convergenz der Hornhautaxen eingeleitet, wodurch scheinbarer Strabismus convergens resultirt, während beide Gesichtslinien correct auf den Fixirpunkt eingestellt sind.

Bei starker Einwärtsrollung des Auges fehlt die Krümmung der Sclera in der Gegend des Aequators, diese scheint vielmehr eine nach hinten sich fortsetzende Ebene zu bilden.

Auch das Drehungscentrum des Auges liegt, wie wir schon früher gesehen haben, in myopischen Augen tiefer als in emmetropischen, und ist desshalb die Bewegung des vorderen Augapfelabschnittes beschränkter als im emmetropischen Auge, wozu noch als weiteres Moment die Raumbeengung in der Orbita hinzukömmt.

§ 25. Bei der Untersuchung auf Myopie ist zuerst die functionelle Prüfung vorzunehmen. Das schwächste Concavglas, welches die beste Sehschärfe für die Ferne vermittelt, ist maassgebend für die Bestimmung des Grades der Myopie. Die Brennweite dieses Glases mehr der Distanz zwischen Knotenpunkt und Glas, ist die Brennweite jener Linse, deren Brechwerth der Ausdruck für den Grad der Myopie ist. Hiebei ist zu beachten, dass mit der steigenden Stärke des Glases die Sehschärfe steigen muss und nicht zu vergessen, dass schwache Concavgläser auch im emmetropischen und sogar im hypermetropischen Auge eine subjective Verbesserung hervorzurufen imstande sind.

Spricht das Aussehen des Auges für eine höhergradige Myopie, ist es, um das Verfahren abzukürzen, vortheilhaft, kleine Druckschrift lesen zu lassen. Es ist eine Erfahrungssache, dass höhergradige Myopien, wenn sie nicht hochgradig amblyopisch sind, kleineren Druck in ihrem Fernpunkte lesen. Wählt man nun ein Glas, welches ungefähr diesem Abstande entspricht, so gelangt man auf kürzestem Wege zur Eruirung des Grades der Myopie.

Jedesmal muss dieser Prüfung die Untersuchung der Refraction mittelst des Augenspiegels nachfolgen.

Häufig, besonders bei schwächeren Graden, zeigt sich, dass die Myopie nur functionell, oder wirklich vorhandene Myopie functionell gesteigert war.

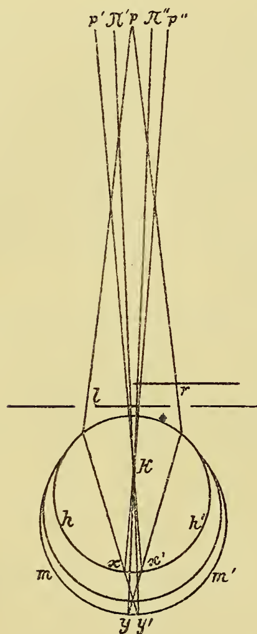
Das myopische Auge bietet ausserdem bei der ophthalmoskopischen Untersuchung Veränderungen des Augengrundes dar, welche wir bei der Lehre vom Augenspiegeln werden näher kennen lernen.

§ 26. Wiewohl die functionelle Prüfung der Augen mittelst Convex- und Concavgläser, besonders in Verbindung mit der später zu behandelnden Untersuchung mittelst des Augenspiegels, vollkommen zur Bestimmung der Refraction eines Auges ausreicht, wurden von verschiedenen Seiten Methoden erdacht, die Abnormitäten im Baue des Auges auch ohne den Gläserversuch feststellen zu können. Von diesen Versuchen wollen wir nur die beiden Methoden, welche von Thompson angegeben worden sind, hervorheben.

Die erste derselben beruht auf dem Scheiner'schen Versuch: In einem Metallplättchen befinden sich zwei kleine Oeffnungen, deren Distanz kleiner ist, als der Durchmesser der Pupille des zu untersuchenden Auges. In einer Entfernung von etwa 5 m wird ein kleines Gasflämmchen durch die Löcher in der Platte angesehen, dasselbe er-

scheint in Doppelbildern, weil, wie wir früher gesehen haben, beim Scheiner'schen Versuche, wenn er von nicht hochgradig myopischen Personen ausgeführt wird, das Object in 8″—10″ einfach, in allen anderen Entfernungen doppelt erscheint. Um mit diesem Apparate die Refraction zu bestimmen, braucht man nur die eine oder andere Oeffnung in der Platte mit einem rothen Glase zu bedecken, wobei bei Anwesenheit von Myopie das Doppelbild auf der gleichnamigen Seite mit der gedeckten Platte roth erscheint, während bei Hypermetropie das auf der anderen Seite liegende Doppelbild roth wird.

Fig. 13.



Dies erklärt sich aus der beifolgenden Fig. 13. Ist $SS_,$ der lineare Durchschnitt der Platte und l und r das links und rechts gelegene je 0,5 mm im Durchmesser haltende Löchelchen, deren gegenseitige Distanz 4 mm betragen mag; ist ferner K der Knotenpunkt des beobachteten Auges und $hh_,$ die Lage der Netzhaut in einem hypermetropischen und $mm_,$ in einem myopischen Auge; ist p ein etwa 5 m entfernter Lichtpunkt, so wird von den Strahlen, welche von diesem ausgehen und durch die beiden Löcher l und r ins Auge dringen, im hypermetropischen Auge ein Zerstreuungskreis xx, und im myopischen Auge nach der Ueberkreuzung ein solcher mit dem Durchmesser $yy_,$ gebildet, wodurch Doppelbilder entstehen, da nur die genannten Punkte vom Lichte getroffen werden. Diese sind bei Hypermetropie gekreuzte, bei Myopie gleichnamige Doppelbilder, indem die Netzhautstelle $x_,$ ihre Empfindung nach $p_,$ und x nach $p_{,,}$ verlegt, y und $y_,$ aber nach $\pi_,$ und $\pi_{,,}$. Verdeckt man nun die Oeffnung r mit einem rothen Glase, so zeigt sich unmittelbar aus der Figur, dass einem hypermetropischen Auge der Punkt $p_,$, einem myopischen der Lichtpunkt $\pi_{,,}$ roth erscheinen müsse.

Um den Grad der Ametropie zu messen, wurde der Umstand benutzt, dass die Stärke des Ametropiegrades proportional sei dem Durchmesser des Zerstreuungskreises und desshalb der Distanz der Doppelbilder. Um diese Distanz zu messen, wurde ein zweiter Lichtpunkt in geringer Entfernung vom ersten derartig seitlich angebracht, dass die beiden mittleren Doppelbilder zusammenfielen, so dass es statt vier nur drei Bilder gab. Nun wird das Verhältniss der Distanz der beiden Lichtpunkte zu der Distanz der beiden Löchelchen gleich gesetzt dem Verhältnisse zwischen der Entfernung des Lichtpunktes und dem gesuchten Fernpunktsabstande.

So mussten in einem aphakischen Auge z. B. die beiden Lichtpunkte 250 mm aus einander gerückt werden, damit die mittleren Doppelbilder einander decken, und es wurde aus dieser Grösse, sowie aus der Entfernung der Lichtpunkte vom Auge (5 m = 5000 mm) und schliess-

lich der Entfernung der beiden Löchelchen von einander = 4 mm die Proportion aufgestellt

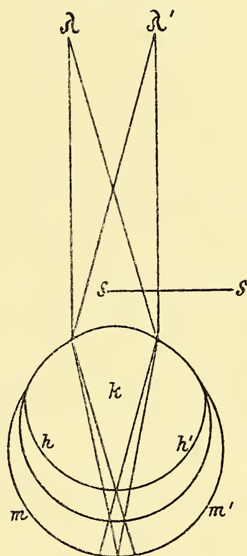
$$250 : 4 = 5000 : x,$$

woraus x = 80 mm = 3·2″.

Auch zur Bestimmung des Astigmatismus gebrauchte Thompson seine Methode, wobei er aber zehn Löchelchen, welche in Kreuzform angeordnet waren, zur Untersuchung benutzte.

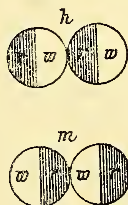
Die zweite Methode von Thompson zur Bestimmung der Ametropie ist noch einfacher, indem zu derselben die Grösse und die Art der Zerstreuungskreise zweier Lichtpunkte benutzt wurden. Fig. 14 soll dies erläutern.

Fig. 14.



Sind λ und λ, zwei kleine Lichtpunkte, haben A, k, hh, mm, dieselbe Bedeutung wie in der vorigen Figur, so wird nach Thompson's Vorschrift ein Lichtpunkt so nahe an die anderen geschoben, dass ihre Zerstreuungskreise sowohl an der hypermetropischen als an der myopischen Netzhaut sich mit ihren inneren Rändern berühren. Schiebt man nun z. B. von rechts her ein rothes Glas vor das Auge, so färben sich die rechts gelegenen Theile der beiden Zerstreuungsbilder, wenn das Auge hypermetropisch ist und die linken Seiten der Zerstreuungsbilder, wenn das Auge Myopie darbietet. Nach aussen projicirt müssten desshalb im ersteren Falle die beiden linken, im letzteren die beiden rechten Hälften der Zerstreuungsbilder in rothem Lichte erscheinen. Da wir es aber nicht mit Lichtpunkten, sondern eigentlich mit Lichtflammen, die aus einer unendlich grossen Zahl von Punkten zusammengesetzt sind, zu thun haben, so entsteht von diesen beiderseits eine unendliche Anzahl von Zerstreuungskreisen, deren eine Seite (im hypermetropischen Auge die linke) durch Deckung der weissen Theile durch die rothen roth erscheint, während die rechte Seite weiss bleibt, wie dies aus Fig. 15 ersichtlich ist. Diese letztere Methode, weniger correct und brauchbar als die erstere, theilt mit dieser das Schicksal lediglich das theoretische Interesse der Augenärzte erweckt zu haben.

Fig. 15.



§ 27. Bevor wir das Gebiet der Ametropie verlassen, müssen wir jenes nicht gar so seltenen Zustandes Erwähnung thun, bei welchem die Refraction in beiden Augen eines Individuums eine verschiedene ist. Verschiedenheiten leichten Grades bei gleichsinniger Refraction sind sogar häufige Vorkommnisse. Ausnahmsweise trifft man Individuen an, die eine Verschiedenheit sowohl dem Sinne als dem Grade der Refraction nach an ihren Augen darbieten, die sehr bedeutend ist. So kenne

ich einen Advokaten, der auf einem Auge M $\frac{1}{3}$, auf dem anderen H $\frac{1}{8}$ hat, so dass der Refractionsunterschied beider Augen $\frac{1}{3} + \frac{1}{8} = \frac{1}{2^{2}/_{11}}$ beträgt.

Diese Verschiedenheiten in der Refraction beider Augen werden mit dem Namen: Anisometropie bezeichnet.

Drei Momente sind es, die hiebei für uns in Betracht kommen, 1. das Verhalten des binoculären Sehactes, 2. der Einfluss beider Augen auf einander, in Bezug auf die Sehschärfe, 3. die Accommodationsverhältnisse beider Augen.

In Betreff des ersten Punktes zeigt die Erfahrung, dass in den meisten Fällen von nicht sehr bedeutender Differenz der Refraction binoculärer Sehact mit allen seinen Qualitäten, d. i. mit Verschmelzung der centralen Eindrücke, mit normaler Tiefenwahrnehmung und mit der sogenannten Fusionsinnervation besteht.

Nur muss in letzterer Beziehung bemerkt werden, dass dieser Innervation engere Grenzen als in gleichwerthigen, gleich scharfen Augen gesteckt sind. Wir werden später sehen, dass die Stärke der Fusion durch Prismen geprüft wird, und es zeigt sich in unseren Fällen, dass im Durchschnitte viel schwächere Prismen, als in beiderseits gleichen Augen, bei Verschmelzung der beiderseitigen Eindrücke vertragen werden. Ist aber die Differenz des Refractionswerthes eine grosse, dann ist der binoculäre Sehact seltener vorhanden und es wird abwechselnd bald das eine, bald das andere Auge mit Ausschluss und Ablenkung des zweiten verwendet.

In Betreff des zweiten Punktes muss hervorgehoben werden, dass die Sehschärfe nicht nur wegen der bestehenden Ametropie, sondern auch, wenn diese corrigirt ist, in der Regel eine verschiedene ist.

Gewöhnlich pflegt dasjenige der beiden Augen, welches einen viel höheren oder viel geringeren Brechwerth hat, als das andere, der Emmetropie näherstehende Auge, das weniger sehscharfe zu sein.

Besteht nun binoculärer Sehact, so pflegt die binoculäre Sehschärfe sowohl für die Ferne als für die Nähe geringer zu sein, als die des für die Objectsentfernung schärferen Auges.

Ist z. B. das eine Auge emmetropisch und hat das andere M $\frac{1}{8}$, so wird für die Ferne binoculär schlechter gesehen, als wenn das emmetropische Auge allein fixirt und ebenso wird die Deutlichkeit des Sehens beim Lesen in 8″ (eine Entfernung, die solche Individuen beim Lesen stets vorziehen) geringer sein, als wenn das myopische Auge allein zum Sehen verwendet wird.

Wenn Donders behauptet, dass in der Regel die Sehschärfe durch Mithilfe des zweiten Auges etwas verbessert wird, so müssen wir erfahrungsgemäss solche Fälle als Ausnahmen bezeichnen.

Es entsteht nun die Frage, ist das Bestehen eines binoculären Sehactes oder der Ausschluss eines Auges blosser Zufall oder knüpfen sich diese Verhältnisse an ein gewisses gesetzmässiges Verhalten beider Augen?

Wir werden später sehen, dass die elastischen Kräfte der seitlichen Augenmuskeln nicht immer einander das Gleichgewicht halten.

sondern dass zuweilen die Externi oder Interni elastisch stärker sind. Ist nun die Störung dieses Gleichgewichtes eine geringgradige und die Sehschärfe eines Auges nicht zu sehr herabgesunken oder durch hochgradige Ametropie für die Objectsdistanz fast vernichtet, so wird auch bei Anisometropie der Zwang des binoculären Sehens die Fusionsinnervation der schwächeren Muskeln anregen. Ist aber die Gleichgewichtsstörung eine hochgradige, die Verminderung der Sehschärfe eines Auges sehr bedeutend, oder ist das eine Auge nach einer oder der anderen Richtung in hohem Grade ametropisch, dann wird entweder nicht die Möglichkeit der Verschmelzung der beiderseitigen Eindrücke bestehen, oder es wird der geringe Werth des einen Auges für das Binoculärsehen wie bei mechanischem Ausschlusse eines Auges die Ablenkung desselben in der Richtung des stärkeren Muskels hervorrufen.

Der Zustand des sehschärferen oder des für gewöhnlich fixirenden Auges beeinflusst bei Obwalten der erwähnten Umstände die Stellung des anderen in nicht geringem Grade.

Ist ersteres emmetropisch oder myopisch, so wird wenigstens beim Blick in die Ferne die Accommodation ruhen, ist es aber hypermetropisch, dann muss es auch für die Ferne accommodiren und die Innervation der Interni als Mitbewegung der Accommodation hervorrufen. Diese Innervation kann aber nicht ohne Einfluss auf die Stellung des anderen Auges bleiben, wenn das binoculäre Sehen ohnehin durch die früher erwähnten Verhältnisse gestört worden ist, sondern muss eine convergente Ablenkung desselben hervorrufen (siehe später).

Drittens ergibt sich in Bezug auf die Accommodationsverhältnisse beider Augen ein ganz eigenthümliches Verhalten. Die Innervation der Accommodation ist in beiden Augen immer eine gleichmässige, einander coordinirte. Ist nun die Refraction beider Augen eine verschiedene, so entsteht eine Reihe von Fragen, welche nur die Erfahrung beantworten kann.

I. Nach welchem Auge richtet sich die Accommodationsquote, welche in Verwendung kommt?

II. Ueberträgt sich die Accommodation auf das andere Auge, auch für solche Bereiche, für welche das letztere nicht accommodirt?

III. Wie verhält es sich mit der Accommodation in der Nähe bei solchen Individuen, die ihre Augen abwechselnd, das eine für die Ferne, das andere für die Nähe verwenden?

IV. Ist die Accommodationsbreite in beiden Augen die gleiche?

V. Wie verhält es sich mit der relativen Accommodationsbreite?

ad 1. Immer ist beim Blick in die Ferne das schärfere Auge oder bei gleicher Sehschärfe das Auge, welches der Emmetropie am nächsten steht, dasjenige, welches die Accommodation beider Augen beherrscht. Hiedurch wird das zweite Auge, wenn es eine schwächere Refraction hat, beim Binoculärsehen weniger sehscharf sein, und bei Accommodation für die Nähe, wenn es allein zum Sehen verwendet wird, ein Hinausrücken des Nahepunktes zeigen, weil es die für solche Nähe nothwendige Accommodation zu erlernen nicht Gelegenheit hatte. Ist das zweite Auge aber myopisch, so ist

ad 2 jener Fall geschaffen, bei welchem es sich frägt, ob die Accommodation sich auch auf jenes Bereich des zweiten Auges erstreckt, für welches dasselbe monoculär nicht accommodirt.

Die Beantwortung dieser Frage ist nicht stricte zu geben, weil die Untersuchungen auf diesen Punkt noch nicht gerichtet worden sind. Es ist aber wahrscheinlich, dass diese Uebertragung stattfindet, theils wegen des allgemeinen Coordinationsgesetzes der Accommodation, theils desshalb, weil wir sehen, dass, wenn das Object in den Fernpunkt des myopischen Auges rückt, der Impuls zur Accommodation von diesem ausgeht, d. h. dass beide Augen accommodationslos werden. Dies kann aus der Thatsache erschlossen werden, dass, bei solch gearteter Anisometropie das emmetropische Auge für nahe Distanzen monoculär nicht accommodiren kann, weil es diese Accommodation niemals erlernt hat.

ad 3. Diese Frage ist theilweise schon beantwortet. Für das schwächer brechende Auge ist die Accommodationsbreite verringert, für das stärker brechende kann sie normal sein. In Folge der wechselnden Benutzung der Augen für die verschiedenen Objectsdistanzen wird auf der gesammten Sehstrecke zweimal dieselbe Accommodationsquote in Verwendung kommen.

ad 4. Aus dem Gesagten ergibt sich schon, dass die Accommodationsbreiten für beide Augen nicht dieselben sind und dass das schwächer brechende Auge die geringere Accommodationsbreite aufweist.

ad 5. Die relative Accommodationsbreite ist selbstverständlich in beiden Augen ungleich und kann desshalb von einer solchen eigentlich gar nicht gesprochen werden.

Es erübrigt jetzt noch von dem Falle zu sprechen, wo zwar die Refraction beider Augen gleich, aber die Sehschärfe durch angeborene oder erworbene Fehler eine wesentlich verschiedene ist. Auch hier hängt die Möglichkeit des binoculären Sehens von dem Gleichgewichte der seitlichen Augenmuskeln und den Accommodationsverhältnissen des sehschärferen Auges ab. Ist Muskelgleichgewicht vorhanden, dann ist auch binoculäres Sehen zugegen, ist die Störung des Gleichgewichtes eine irgendwie beträchtliche, dann entsteht Ablenkung des schwachen Auges, in Sonderheit bei Ueberwiegen der Interni um so eher eine Ablenkung nach innen, wenn das sehscharfe Auge hypermetropisch ist.

§ 28. Wir haben in der Einleitung angegeben, dass man sich die Hornhautkrümmung entstanden denken könne durch Rotation einer Ellipse um ihre von vorn nach hinten gehende grosse Axe. Dies setzt voraus, dass die kleine Axe in allen Schnitten dieses Ellipsoides gleich gross ist, das ist jedoch nicht der Fall. Die Cornea zeigt von oben nach unten eine stärkere Krümmung als von einer Seite zur anderen, oder mit anderen Worten, der Krümmungsradius im verticalen Meridian ist kürzer als der im horizontalen.

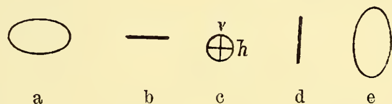
Die Brechungsgesetze, die wir kennen gelernt haben, beziehen sich auf die Brechung durch Kugelflächen, und wir können desshalb im menschlichen Auge, welches durchweg die genannte Asymmetrie zeigt, nur desshalb von diesen absehen, weil der Grad derselben ein sehr geringer und die Wirkung der Asymmetrie durch die enge und centrirte Pupille bis auf eine unbedeutende Spur verschwindet. Dieser Zustand der Augen wird normaler regelmässiger Astigmatismus (von α privativum und στίγμα der Punkt) genannt.

Dieser Name rührt von der Eigenschaft asymmetrischer brechender Flächen her, Strahlenkegel, die von einem Punkte ausgehen, nicht wieder in einem Punkte zu vereinigen.

Betrachten wir die Brechung, die ein verticaler Durchschnitt eines Strahlenkegels durch ein asymmetrisches System, wie es das Auge ist, erleidet, so werden, da der verticale Meridian stärker bricht als die anderen, die durch denselben gehenden Strahlen früher als die anderen auf der Axe zur Vereinigung kommen, wenn das Licht von einem Punkte der Axe ausgegangen ist. Die im horizontalen Durchschnitte des Strahlenkegels liegenden Strahlen werden durch den horizontalen Meridian in das Auge eintreten, und da dieser der schwächstbrechende ist, auch später zur Vereinigung kommen.

Der Vereinigungsort sämmtlicher Strahlen ist desshalb kein Punkt, sondern eine Linie, und diese Linie wurde von Sturm Distance focale, Brennstrecke genannt. Beobachten wir die Form der Zerstreuungskreise, welche der ganze Strahlenkegel nach seiner Brechung vor, innerhalb und nach der Brennstrecke erzeugt, so sehen wir in Fig. 16 a den Zerstreuungskreis, den die Strahlen vor dem vorderen Ende der Brennstrecke geben, wenn sie von einem Schirm aufgefangen werden. Da die Strahlen, die durch den verticalen Meridian gebrochen werden, näher der Axe liegen müssen, als die durch den horizontalen Meridian gebrochenen, so muss diese Figur ein liegendes Oval bilden. Verschieben wir den Schirm in das vordere Ende der Brennstrecke, so haben sich die im verticalen Meridian einfallenden Strahlen in einem Punkte vereinigt, während die horizontal verlaufenden noch nicht zur Vereinigung gekommen sind, wesshalb b eine horizontale Linie bildet. Rückt der Schirm in der Brennstrecke weiter nach hinten, so finden wir die verticalen Strahlen überkreuzt, die horizontalen noch nicht vereinigt und desshalb gegen die Mitte der Brennstrecke zu einen Zerstreuungskreis c. Fangen wir die Strahlen am hinteren Ende der Brennstrecke auf, so haben sich die horizontalen Strahlen zu Punkten vereinigt, während die verticalen schon weiter aus einander gewichen sind, wesshalb wir eine verticale Linie d erhalten. Schieben wir unseren Schirm noch weiter zurück, so finden wir die horizontalen Strahlen schon überkreuzt, die verticalen noch weiter aus einander getreten und desshalb das stehende Oval e.

Fig. 16.



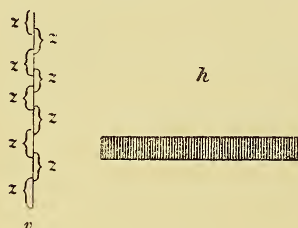
Wir treffen wohl auch in brechenden Kugelflächen, die keinerlei Art von Asymmetrie aufweisen, die Thatsache an, dass nicht alle Strahlen, die von einem Punkte ausgehen, auch wieder in einem Punkte vereinigt werden. Man bezeichnet diese Eigenschaft durch den Ausdruck: Aberration, und es ist in der Physik eine chromatische und sphärische Aberration bekannt. Erstere entsteht bekanntlich dadurch, dass die Strahlen von kurzer Wellenlänge stärker gebrochen werden, als die von grösserer. Hiedurch entsteht ebenfalls eine Brennstrecke, an deren vorderstem Ende der Vereinigungspunkt der violetten, an deren hinterstem der der rothen Strahlen liegt. Es wird desshalb im erstgenannten Punkte ein Zerstreuungskreis erscheinen, dessen äusserste Peripherie roth ist, während im letzten Punkte ein Zerstreuungskreis in umgekehrter Ordnung der Farben mit einem violetten Rande erscheint. Die sphärische Aberration entsteht dadurch, dass nur die der Axe

zunächst einfallenden Strahlen sich wirklich in einem Punkte vereinigen, während die entfernter von der Axe das System passirenden früher zur Vereinigung kommen. Auch hier wird sich eine Brennstrecke bilden und der Vereinigungspunkt der centralen Strahlen von einem hellen Zerstreuungskreise umgeben sein. Diese Aberration erleiden auch sogenannte monochromatische oder homogene Strahlen, welche alle gleiche Wellenlänge haben.

Eben zum Unterschiede von diesen Unregelmässigkeiten der Brechung wurde die Aberration, welche durch Asymmetrie eines optischen Systemes entsteht, mit dem Namen Astigmatismus belegt.

Betrachten wir nun, in welcher Weise einfache Objecte von einem astigmatischen Auge wahrgenommen werden, dessen verticaler Meridian stärker bricht als der horizontale, so wird, allgemein genommen, eine feine verticale Linie in grösserer Entfernung deutlich gesehen als eine horizontale, indem die von der Verticallinie im Horizontaldurchschnitte austretenden Strahlen durch den horizontalen Meridian des Auges in einem Punkte vereinigt werden, während die im verticalen Durchschnitte austretenden durch den verticalen Augenmeridian stärker gebrochen, früher zur Vereinigung kommen und nach der Ueberkreuzung Zerstreuungskreise bilden, die zum grossen Theile einander decken. Das Umgekehrte findet bei der horizontalen Linie statt (siehe Fig. 17).

Fig. 17.



Wir werden später sehen, dass unter gewissen Umständen nur Linien von bestimmter Richtung von einem astigmatischen Auge in allen Distanzen wahrgenommen werden und Linien jeder anderen Richtung verschwommen erscheinen müssen. Sehen wir ferner, in welcher Weise ein Lichtpunkt in verschiedenen Entfernungen vom Auge bei Vorhandensein von Astigmatismus erscheint, so ist es klar, dass im Falle der Astigmatismus nur eine Steigerung des normalen ist, der Lichtpunkt in grösserer Entfernung zu einer verticalen Lichtlinie sich ausdehnen, während er in kürzerer Distanz eine solche horizontale Linie bilden werde.

Normal nennen wir den Astigmatismus, wenn die Differenz im Brechwerthe des stärksten und schwächsten Meridians nicht mehr als $\frac{1}{40}$ beträgt, darüber hinaus wird er als abnormer regulärer Astigmatismus bezeichnet.

Der Grund für diesen letzteren liegt ebenfalls in der abnormen Krümmung der Hornhaut, wie sich auf ophthalmometrischem Wege nachweisen lässt. Auch bei diesem ist gewöhnlich der verticale Meridian der stärkstgekrümmte, der horizontale von schwächster Krümmung, doch kann der stärkstgekrümmte Meridian alle möglichen Neigungen haben, ja sogar horizontal stehen, stets aber sind die Meridiane der stärksten und schwächsten Krümmung senkrecht auf einander.

Jeder der beiden Meridiane kann die verschiedensten Refractionszustände darbieten.

Der Astigmatismus (As) ist ein aufrechter, wenn der stärkstbrechende Meridian vertical steht, ein umgekehrter, wenn dieser horizontal liegt.

Der Astigmatismus ist ein einfacher, wenn einer der Meridiane emmetropisch, der andere ametropisch ist; er ist ein zusammengesetzter, wenn beide Meridiane ametropisch in gleichem Sinne sind. Er ist ein gemischter, wenn die Ametropie der beiden Hauptmeridiane entgegengesetzte Refractionszustände darbietet.

Wir unterscheiden ferner einen einfachen hypermetropischen Astigmatismus, wenn einer der beiden Meridiane hypermetropisch ist, und einen einfachen myopischen, wenn der eine der Meridiane myopisch ist, während in beiden Fällen der andere Emmetropie zeigt.

Wir haben demnach folgende verschiedene Formen von As:

I. a) einfacher, aufrechter, hypermetropischer Astigmatismus,
   b) einfacher, umgekehrter, hypermetropischer Astigmatismus,
   c) zusammengesetzter, aufrechter, hypermetropischer Astigmatismus,
   d) zusammengesetzter, umgekehrter, hypermetropischer Astigmatismus,

II. a) einfacher, aufrechter, myopischer Astigmatismus,
   b) einfacher, umgekehrter, myopischer Astigmatismus,
   c) zusammengesetzter, aufrechter, myopischer Astigmatismus,
   d) zusammengesetzter, umgekehrter, myopischer Astigmatismus,

III. a) aufrechter, hypermetropisch-myopischer Astigmatismus,
   b) umgekehrter, hypermetropisch-myopischer Astigmatismus.

Unter diesen Formen ist der einfache, aufrechte, hypermetropische Astigmatismus der häufigste, und wir werden bald sehen, was der Grund dieser Häufigkeit ist. Diesem zunächst steht der einfache, aufrechte, myopische Astigmatismus. Alle übrigen Formen sind in Bezug auf die Häufigkeit ihres Vorkommens einander ziemlich gleich, nur der hypermetropisch-myopische muss wegen seiner Seltenheit ausgenommen werden.

Meridianneigungen sind eine häufige Erscheinung, während die Verschiebungen der Meridiane um 90° (umgekehrter Astigmatismus) relativ selten sind.

Einen wichtigen Einfluss auf die Gestaltung des Astigmatismus nimmt die Accommodation. Vor Allem entsteht die Frage, ob durch die Accommodation der Astigmatismus ausgeglichen werden kann, indem durch partielle Contraction des Ciliarmuskels die Krümmung der Linse im schwächstbrechenden Meridian der Hornhaut vermehrt wird. Wenn auch zugegeben werden muss, dass eine solche Correction in der That zuweilen stattfindet, so muss ausgesprochen werden, dass in der Regel die Accommodationsveränderungen der Linse in normaler Weise vor sich gehen und die Differenz in der Brechung der beiden Meridiane für die Nähe dieselbe bleibt, als für die Ferne.

Dagegen erscheint ein Wechsel in der Accommodation beim einfachen, myopischen Astigmatismus derart stattzufinden, dass jene bis zum Fernpunkte des myopischen Meridians von dem Bedürfnisse des emmetropischen, näher aber von den Forderungen des myopischen abhängig zu sein scheint.

Eine ansehnliche Reihe von Fällen des einfachen, aufrechten, hypermetropischen Astigmatismus zeigt nur functionell im verticalen Meridiane

Emmetropie; bei der Augenspiegeluntersuchung jedoch wird im verticalen Meridiane Hypermetropie gefunden, wenn auch geringeren Grades als im horizontalen Meridiane.

Man kann desshalb als Regel annehmen, dass bei zusammengesetztem, aufrechten, hypermetropischen Astigmatismus beim Blick in die Ferne jene Accommodationsquote in Thätigkeit gesetzt wird, welche den verticalen Meridian zur Emmetropie corrigirt, während sie die Hypermetropie des horizontalen Meridians entsprechend verringert.

Aber auch bei Accommodation in der Nähe entspricht nur die Einstellung des verticalen Meridians dem Convergenzpunkte, während für den horizontalen Meridian die aufgewendete Accommodation zum Deutlichsehen nicht ausreicht.

Die Folge hievon ist aber, dass von solchen Augen in der ganzen Sehstrecke nur horizontale Linien deutlich gesehen werden, während verticale Linien die grösste Undeutlichkeit zeigen.

Der Grund hiefür ist einleuchtend:

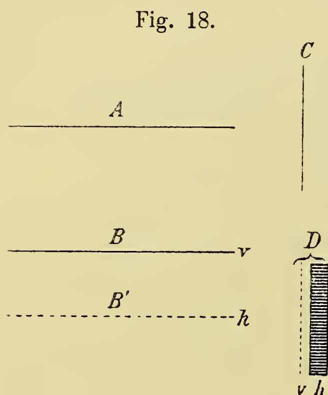


Fig. 18.

Alle Strahlen, welche von je einem Punkte der Linie A (Fig. 18) im verticalen Schnitte ausgehen, werden durch den verticalen Meridian in Punkten vereinigt B, während alle im horizontalen Schnitte von jedem Punkte ausgehenden Strahlen lineare und horizontale Zerstreuungskreise bilden B′, welche sich theilweise decken.

Die von den einzelnen Punkten einer verticalen Linie C im verticalen Schnitte ausgehenden Strahlen werden sich ebenfalls je in einem Punkte wieder vereinigen, während die von jenen Punkten horizontal ausfahrenden Strahlen horizontale Zerstreuungskreise geben werden D; desshalb müssen horizontale Linien scharf, verticale verschwommen gesehen werden.

Da das Verhältniss der beiden Meridiane zu einander durch die ganze Accommodationsbreite das gleiche ist, so muss auch die Deutlichkeit von horizontalen und verticalen Linien in der ganzen Sehstrecke dieselbe bleiben.

Ein analoges Verhältniss findet beim einfachen, aufrechten, myopischen Astigmatismus statt, bei welchem, wie wir gesehen haben, der horizontale Meridian Emmetropie, der verticale Myopie zeigt. Bei diesem werden in der Ferne aus bekannten Gründen nur verticale Linien deutlich gesehen, und da die Accommodation sich nach dem Bedürfnisse des emmetropischen Meridians einrichtet, wird auch in der Nähe dasselbe Verhältniss bleiben. Nur in jenen Fällen, in welchen Accommodationsbeschränkung zugegen ist, werden in der Nähe horizontale Linien deutlich, verticale verschwommen erscheinen.

Dass beim umgekehrten, myopischen Astigmatismus diese Verhältnisse im entgegengesetzten Sinne Platz greifen, ist von selbst klar.

Auch bei den Formen des zusammengesetzten Astigmatismus, sowohl des aufrechten als des umgekehrten, werden in der ganzen Seh-

strecke Linien von einer bestimmten Richtung deutlich oder eigentlich deutlicher gesehen als andere, in Sonderheit als solche, welche zu den deutlich gesehenen senkrecht sind.

§ 29. Die Untersuchung des Astigmatismus erfolgt nach verschiedenen Methoden.

Die jüngste, einfache, aber leider wenig genaue, ist die mittelst des Keratoskopes von Placido.

Dieses Instrument besteht aus einer 23 cm im Durchmesser haltenden Scheibe, auf welcher schmale abwechselnd schwarze und weisse concentrische Ringe um ein centrales Loch angebracht sind und welche an einem Stiel befestigt ist. Die Wirkung dieses Instrumentes beruht darauf, dass die Cornea ein Convexspiegel mit starker Krümmung ist, der von Objecten, welche sich vor demselben befinden, aufrechte, verkleinerte Bilder gibt, die um so kleiner sind, je kürzer der Krümmungshalbmesser wird. Ist demnach der verticale Meridian des Auges stärker gekrümmt, so werden die Reflexbilder in dieser Richtung kleiner, als in der Richtung des weniger gekrümmten, horizontalen Meridians erscheinen. Das Reflexbild eines Kreises wird desshalb eine Ellipse mit horizontaler, langer Axe werden. Umgekehrt wird das Reflexbildchen eine stehende Ellipse darstellen, wenn der horizontale Meridian stärker gekrümmt ist, als der verticale. Allgemein ausgedrückt: das Reflexbildchen der concentrischen Kreise wird in der Richtung des schwächsten Meridians zu einer Ellipse ausgezogen erscheinen.

Bei dem Gebrauche des Instrumentes wird das zu untersuchende Individuum mit dem Rücken gegen ein helles Fenster gesetzt. Der Untersucher sitzt vor demselben, hält das centrale Loch der Scheibe vor sein Auge und lässt dieses von dem zu untersuchenden Auge fixiren.

Die schwarzen und weissen Ringe erscheinen dann scharf gezeichnet als kleine Kreise oder Ellipsen, wenn das Auge normal oder astigmatisch ist.

Je stärker die Differenz zwischen der Krümmung des stärksten und schwächsten Meridians ist, desto grösser wird die lange Axe der Ellipse im Verhältnisse zur kurzen Axe.

Wir sehen, dass in dieser Weise die Gegenwart von Astigmatismus, die Richtung der Meridiane desselben, die Lage des stärkst- und schwächstbrechenden Meridians und ungefähr der Grad des Astigmatismus (ob gering oder hochgradig) bestimmt werden kann. Es fehlt aber die Bestimmung der Refraction der einzelnen Meridiane, sowie die Bestimmung der Art und des Grades der Ametropie.

Eine zweite Methode ist jene, bei welcher ein Lichtpunkt von einem Auge betrachtet wird, indem man jenen dadurch herstellt, dass man einen dunkeln Schirm mit einem engen Loch in der Mitte vor einem hellen Hintergrunde hält und bald aus grösserer, bald aus geringerer Entfernung das durch die Oeffnung fallende Licht betrachten lässt. Diese Methode ist jedoch bei Vorhandensein der Linse nicht brauchbar, weil durch den irregulären Astigmatismus, den die Linse erzeugt, der Lichtpunkt nicht nach einer, sondern strahlenförmig nach vielen Richtungen ausgezogen erscheint, ähnlich wie die Sterne auch von normalen Augen wahrgenommen werden.

In linsenlosen, astigmatischen Augen kann wohl diese Methode Anwendung finden, sie besagt jedoch nichts mehr, als in welcher Richtung die beiden Meridiane liegen.

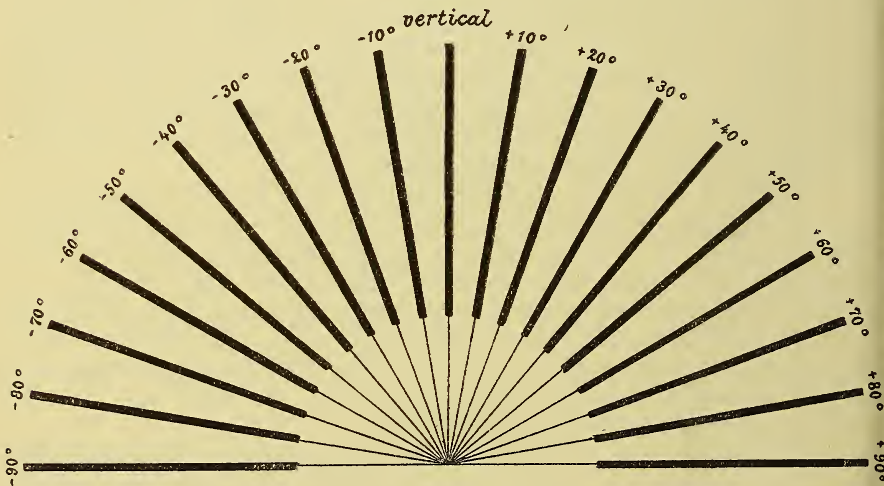
Das Resultat der Untersuchung ist desshalb noch unvollkommener als beim Keratoskop.

Eine dritte Methode besteht darin, dass man Linien von verschiedener Richtung, z. B. die beifolgende Strahlenfigur (Fig. 19) den Augen zum Betrachten darbietet. Ist Astigmatismus vorhanden, so wird nur eine Linie dem Auge deutlich erscheinen, während die anderen, vor Allem die auf erstere senkrechte, verschwommen sind.

Ist der stärkstbrechende Meridian myopisch, dann entspricht die Richtung der deutlich gesehenen Linie der Richtung des stärksten Meridians, ist aber der stärkstbrechende Meridian emmetropisch, so fällt die Richtung der deutlich gesehenen Linie in die des schwächstbrechenden Meridians.

Es ist also bei dieser Untersuchungsmethode die Vorfrage zu erledigen, ob der stärkstgekrümmte Meridian myopisch oder emmetropisch

Fig. 19.



sei, eine Untersuchung, die oft selbst dem Geübten Schwierigkeiten verursacht. Im Allgemeinen kann man sagen, dass man im ersten Falle Concavgläsern, im letzteren Convexgläsern den Vorzug geben wird.

Hat man auf solche Weise die Richtung des stärkstbrechenden Meridians gefunden, dann werden, wenn dieser myopisch ist, concavcylindrische Gläser, deren Axe senkrecht auf die Richtung des Meridians gestellt ist, bis zu jener Stärke vor das Auge gebracht, bei welcher alle radienförmige Linien gleich deutlich erscheinen. Ist aber der stärkstgekrümmte Meridian emmetropisch, dann werden convex-cylindrische Gläser, deren Axe mit diesem Meridian gleich gerichtet ist, bis zu solcher Stärke vor das Auge gelegt, dass wieder alle Linien der Strahlenfigur gleich deutlich erscheinen.

Im ersten Falle gibt die Stärke des Concav-Cylinderglases den Grad der Myopie im stärkstgekrümmten Meridiane an, im zweiten Falle zeigt die Stärke des Convex-Cylinderglases den Grad der Hypermetropie im schwächstgekrümmten.

Das bisher Erörterte bezieht sich jedoch nur auf den Fall des einfachen Astigmatismus, wo einer der beiden Meridiane emmetropisch ist. Haben wir es aber mit gemischtem Astigmatismus zu thun, dann wird diese Methode sehr complicirt, indem auch bei Correction des myopischen resp. hypermetropischen Meridians nicht alle Linien gleich deutlich erscheinen, sondern im ersten Falle die dem schwächstgekrümmten, im zweiten Falle die dem stärkstgekrümmten Meridiane entsprechende Linie. Um alle Linien deutlich erscheinen zu lassen, müssen jetzt noch im ersten Falle Convex-Cylindergläser, deren Axe dem myopischen Meridiane entspricht, im zweiten Falle Concav-Cylindergläser, deren Axe dem hypermetropischen Meridiane parallel ist, bis zu jener Stärke vorgelegt werden, bei welcher die gewünschte Deutlichkeit erreicht ist.

Zudem müssen die Versuche bei höheren Graden der Ametropie in solcher Entfernung vom Auge ausgeführt werden, dass die der Convergenz associirte Accommodation die Untersuchung noch weiter complicirt.

Dieselben Schwierigkeiten haften den nach dieser Methode entworfenen Linientafeln von Becker an.

Diese stellen Gruppen von je drei Linien dar, die in verschiedenen Richtungen verlaufen und derart angeordnet sind, dass je zwei benachbarte Gruppen eine stark von einander abweichende Richtung zeigen, endlich dass alle Richtungen von 10 zu 10^{0}, also 18 verschiedene, auf der Tafel verzeichnet sind.

Viel sicherer ist die Untersuchung mittelst des nach derselben Methode von Javal construirten Instrumentes. Dasselbe besteht aus einem stereoskopischen Kasten, in welchem das eine der Oculare mit Concav-Cylindergläsern, die der Reihe nach eingestellt werden können, zu bewaffnen ist. Als Object für das zu untersuchende Auge dient eine Strahlenfigur, während auf der anderen Seite ein einfacher Kreis von dem Durchmesser dieser Figur zur stereoskopischen Vereinigung dargeboten wird. Handelt es sich um einfachen, myopischen Astigmatismus, so kann monoculär untersucht werden. Ist aber Myopie nicht vorhanden, dann wird beiderseits ein starkes Convexglas eingelegt, welches die Augen myopisch macht. Die binoculäre Untersuchung geschieht desshalb, um die Accommodation zu fixiren. Der Vorgang bei der Untersuchung ist ein ähnlicher, wie der bei der Prüfung von Linien mit blossem Auge; doch wird hier in jedem Falle die deutlichst gesehene Linie dem stärkstgekrümmten Meridiane entsprechen.

Bevor wir zur nächsten Methode übergehen, müssen wir die Form und die Herstellung von Cylindergläsern, sowie deren Wirkung auf das normale und astigmatische Auge besprechen.

Cylindergläser sind Segmente eines Glascylinders, welche parallel der Axe geschnitten sind.

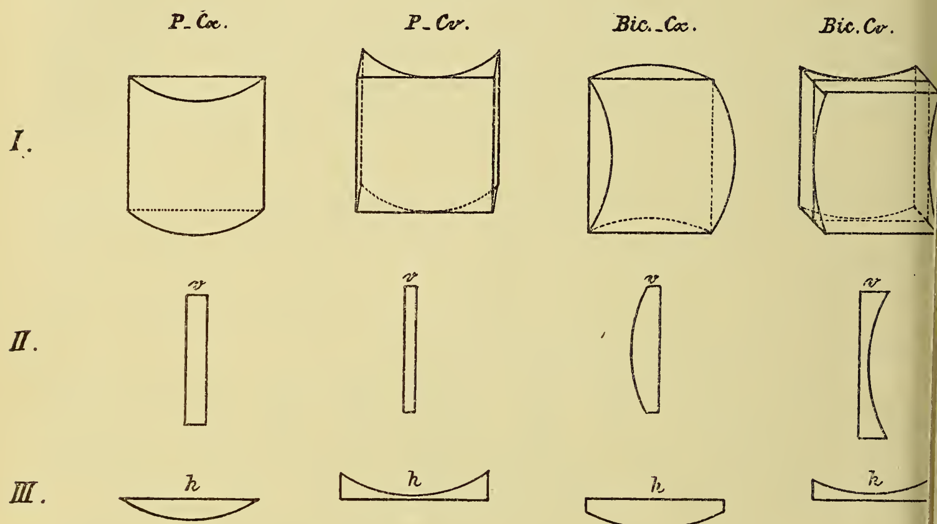
Convexe oder positive Cylindergläser werden aus der Mantelfläche eines soliden Cylinders hergestellt. So auch die plan-convexen (siehe Fig. 20a, P.-Cx.).

Concave oder negative Cylindergläser werden aus der hohlen Fläche eines Hohlcylinders gebildet. Die Axe des Cylinderglases entspricht demnach der Axe des Cylinders, aus welchem es geschnitten ist (Fig. 20a, P.-Cv.).

In der Richtung der Axe verhalten sich demnach Cylindergläser wie Plangläser, in der darauf senkrechten wie positive oder negative.

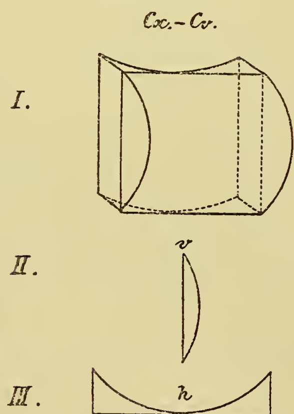
Bicylindrische Convexgläser sind solche, bei welchen in der Richtung der Axe eine andere, stärkere oder schwächere, convexe

Fig. 20 a.



Cylinderfläche aufgeschliffen wird, so dass jedem Convexglase die Axe des anderen entspricht (Fig. 20a, Bic.-Cx.).

Fig. 20b.



Bicylindrische Concavgläser bestehen aus zwei concaven Cylinderflächen, bei welchen die Richtung der Axe einer jeden der gekrümmten Fläche der anderen entspricht (Fig. 20a, Bic.-Cv.). Endlich benutzt man auch convex-concave Cylindergläser, die so geschliffen sind, dass die Richtung der Axe der einen Fläche der Krümmung der anderen entspricht. (Fig. 20b, Cx.-Cv. In Fig. 20a und 20b ist unter I. der Aufriss, unter II. der verticale, unter III. der horizontale Durchschnitt der Cylindergläser gezeichnet.)

Bringen wir ein einfaches, convexes oder concaves Cylinderglas in beliebiger Richtung der Axe vor ein emmetropisches Auge, so verhält sich dieses wie ein astigmatisches.

Ist das Cylinderglas z. B. ein convexes und die Richtung der Axe vertical, so bleibt das Auge im verticalen Meridiane emmetropisch, im horizontalen Meridiane aber wird das Auge, durch die Wirkung des Convexglases verstärkt, ein stärker brechendes, also ein myopisches werden.

Verticale und horizontale Linien werden sich gegenüber einem solchen Auge verhalten wie gegen ein einfach umgekehrtes, myopisch-astigmatisches. Ist das vorgelegte Cylinderglas ein concaves, so wird, wenn die Axe senkrecht ist, die Emmetropie im verticalen Meridian unverändert bleiben, während im horizontalen Meridian das Auge durch die concave Fläche in ein schwächer brechendes, also hypermetropisches, verwandelt wird. Das Auge sammt der Cylinderlinse stellt demnach ein solches mit einfachem, aufrechtem, hypermetropischen Astigmatismus dar.

Ebenso wie wir aus einem emmetropischen Auge durch Vorsetzung von Cylindergläsern ein astigmatisches machen können, ebenso können wir ein astigmatisches Auge durch Vorsetzung von Cylindergläsern in ein emmetropisches verwandeln. Auf diesem Grundsatze beruht die Correction des Astigmatismus durch Cylindergläser.

Wir können aber auch jenes Verfahren zur Bestimmung des Astigmatismus benutzen und haben dabei den Vortheil, gleichzeitig das Glas zu finden, das den Astigmatismus corrigirt.

Die vierte Methode beruht also auf der Untersuchung des Auges mit Cylindergläsern.

Als Probeobject dient die Buchstabentafel von Snellen. Da die römischen Buchstaben zumeist aus verticalen, horizontalen und diagonalen Linien bestehen, sind sie sehr geeignete Probeobjecte.

Der Vorgang der Untersuchung ist folgender: Das zu untersuchende Individuum befindet sich in einer Entfernung von 20′ (6 m) von der Tafel. Ist Verdacht auf Astigmatismus vorhanden, so legen wir erst schwache und dann immer stärkere sphärische Convexgläser vor das Auge. Wird durch dieselben die Sehschärfe nicht verschlechtert, zeigt sich der zu Untersuchende im Gegentheil durch dieselben befriedigt, ohne dass jedoch die Sehschärfe steigt, dann gewinnt die Gegenwart von hypermetropischem Astigmatismus sehr an Wahrscheinlichkeit.

Wir suchen nunmehr das stärkste Convexglas, bei welchem die Sehschärfe nicht verringert erscheint. Haben wir dies gefunden, so setzen wir ein Convex-Cylinderglas mit der Nummer des sphärischen Convexglases die Axe vertical vor das Auge. In den meisten Fällen wird die Sehschärfe augenblicklich wesentlich verbessert werden. Ist dies nicht der Fall, so drehen wir die Axe des Cylinderglases nach der einen oder anderen Richtung und werden bald eine solche finden, in welcher die Sehschärfe plötzlich ansteigt. Haben wir diese Richtung gefunden, so zeigt sie uns diejenige des stärkstbrechenden Meridians an.

Wir steigen nunmehr mit der Stärke der Cylinder-Convexgläser mit gleichgerichteter Axe, bis wir das stärkste Glas gefunden haben, welches die erreichbar beste Sehschärfe gibt.

Wir müssen uns nunmehr überzeugen, ob der Astigmatismus ein einfacher, zusammengesetzter oder gemischter sei, d. h. ob der stärkstbrechende Meridian Emmetropie, Hypermetropie geringeren Grades als die des schwächstbrechenden Meridians oder Myopie darbiete.

Wir fügen desshalb dem gefundenen Cylinderglase ein zweites, sehr schwaches convexes hinzu, dessen Axe senkrecht auf der des gefundenen steht. Meistens wird diese Combination verworfen. Dann versuchen wir es mit einem Concav-Cylinderglase mit derselben Axenrichtung,

und wird auch diese Combination verworfen, dann haben wir es, wie gewöhnlich (siehe oben), mit einfachem, hypermetropischem Astigmatismus zu thun. Werden von dem zu Untersuchenden sphärische Convexgläser absolut verworfen, dann untersucht man auf die Gegenwart von myopischem Astigmatismus.

Zu diesem Behufe legt man ein schwaches Concav-Cylinderglas zuerst mit horizontaler Axenrichtung vor. Bessert sich durch dieses Glas die Sehschärfe, dann steigt man mit der Stärke der Gläser in derselben Lage der Axe, wobei die Sehschärfe ebenfalls wachsen muss.

Bleibt bei weiterer Verstärkung der Cylindergläser die Sehschärfe dieselbe, so ist das schwächste Concavglas, mit welchem die grösstmöglichste Sehschärfe erreicht wird, das corrigirende Glas. Nunmehr legen wir, um einen zusammengesetzten oder gemischten Astigmatismus entdecken oder ausschliessen zu können, in die Richtung der Axe des früheren Concavglases ein zweites Concav- oder Convexglas, dessen Axe senkrecht auf der ersteren steht. Wird die Sehschärfe mit einem oder dem anderen Glase verbessert, so besteht zusammengesetzter resp. gemischter Astigmatismus, und wir finden seinen Grad, wenn wir mit der Stärke der letztgenannten Gläser bis zur Erreichung der besten Sehschärfe steigen.

Würde aber das Concavglas mit horizontaler Axenrichtung verworfen, so dreht man dasselbe langsam um 180⁰. Findet sich eine Richtung der Axe, bei welcher die Sehschärfe steigt, so verfährt man weiter so, wie eben beschrieben worden ist.

Bei diesen Untersuchungen ist es vortheilhaft, sich runder Gläser zu bedienen, die Axen derselben markiren zu lassen und einen feststehenden Apparat zu benutzen, der auf einer Stütze zwei Ringe trägt, von welchen der eine, der die Gläser aufnehmen soll, um seine Axe drehbar, während der andere mit einer Gradeintheilung versehen ist. In solcher Weise lässt sich die Art des Astigmatismus, der Grad desselben und die Axenrichtung leicht und schnell bestimmen.

Um den Astigmatismus zu bezeichnen, kann man sich mit Vortheil eines Kreuzes bedienen, an dessen Schenkel die an den entsprechenden Meridianen gefundenen Refractionen verzeichnet sind.

So würde $\underset{0}{+}\;+\frac{1}{60}$ einen einfachen, aufrechten, hypermetropischen Astigmatismus von $\frac{1}{60}$ ausdrücken. $\overset{30^0}{\times}\;\begin{matrix}-\frac{1}{40}\\ +\frac{1}{20}\end{matrix}$ würde einen gemischten, myopisch-hypermetropischen Astigmatismus bezeichnen, dessen stärkstgekrümmter Meridian M $\frac{1}{40}$ zeigt und 30⁰ gegen die Schläfe gedreht ist, wenn die Figur das linke Auge betrifft, und dessen schwächster Meridian um 30⁰ nach links gegen den horizontalen Meridian gedreht erscheint.

Eine fünfte Methode der Untersuchung des Astigmatismus ist die ophthalmoskopische, von welcher wir später sprechen werden. Es wurden auch noch stenopäische Spalten mit und ohne sphärische Gläser zur Eruirung des Astigmatismus benutzt, diese Methode ist jedoch

unsicher, weil schon durch die Verschmälerung des einfallenden Lichtkegels eine Verbesserung der Sehschärfe erzielt wird.

Wir wollen schliesslich noch die Abkürzungen, deren man sich beim Astigmatismus bedient, Erwähnung thun.

Einfacher, hypermetropischer Astigmatismus = As. Hyp.
„ myopischer „ = As. My.
Umgekehrter, einfacher, hypermetropischer Astigmatismus = As. Hyp. inv. (inversus).
Umgekehrter, einfacher, myopischer Astigmatismus = As. My. inv.
Zusammengesetzter, hypermetropischer Astigmatismus = As. Hyp. comp. (compositus).
Zusammengesetzter, myopischer Astigmatismus = As. My. comp.
„ myopisch-hypermetropischer Astigmatismus = As. My. Hyp. mixt. (mixtus).

Beim zusammengesetzten, hypermetropischen oder myopischen Astigmatismus pflegt man das corrigirende Glas als Combination eines sphärischen, dessen Brennweite gleich ist der Brennweite des schwächstbrechenden Meridians, mit der Differenz beider Meridiane, als Cylinderglas sich vorzustellen und den Astigmatismus durch die Differenz beider Meridiane auszudrücken.

Fänden wir z. B. ——|—— $-\frac{1}{20}$, $-\frac{1}{10}$ (senkrecht), so bezeichnen wir den Astigmatismus als As. My. comp. $\frac{1}{20}$ und die Gläsercombination (◯) als sph. $-\frac{1}{20}$ ◯ cyl. $-\frac{1}{20}$ Axe horizontal.

Wir haben bisher angenommen, und dies ist auch für die ungeheure Mehrheit der astigmatischen Augen richtig, dass diese Unregelmässigkeit in der Brechung von einer Asymmetrie der Cornea abhängig sei. In seltenen Fällen jedoch ist der regelmässige Astigmatismus die Folge einer Lageveränderung der Linse, und zwar einer solchen, bei welcher die erstere derartig verschoben ist, dass ihre Axe mit der Hornhautaxe einen Winkel bildet.

In Folge davon passiren jene Strahlen, welche auf die schiefstehende Linse fallen, in der Drehungsebene dieselbe in schiefer Richtung, während sie in der darauf senkrechten fast unverändert durch dieselbe hindurchgehen. Wegen des schiefen Durchganges der Strahlen in der Drehungsebene werden diese stärker gebrochen als in der darauf senkrechten und kommen auch desshalb früher zur Vereinigung als die letzteren.

Man kann sich diesen Vorgang dadurch klar machen, dass man eine Linse von nicht zu grosser Brennweite schief vor sein Auge hält und durch dieselbe verticale und horizontale Linien beobachtet.

Man wird, wenn die Linien im Brennpunkte der Linse liegen, wahrnehmen, dass horizontale Linien deutlicher erscheinen als verticale.

Dieser von der Linse abhängige, regelmässige Astigmatismus ist wahrscheinlich ein angeborener, in sehr seltenen Fällen jedoch als ein erworbener constatirt worden.

Auch der abnorme, reguläre Cornealastigmatismus ist in wenigen Fällen als ein erworbener beschrieben worden. Ob diese erworbene Unregelmässigkeit der Cornealkrümmung den Gesetzen des regulären Astigmatismus folgt, kann in einfacher Weise durch die Untersuchung mit Cylindergläsern, wie schon gezeigt wurde, erhoben werden.

Die häufigste Art der Erwerbung eines regulären Astigmatismus durch Cornealasymmetrie ist die durch Cataractextraction, bei welcher allerdings häufiger irregulärer Astigmatismus entsteht.

Der irreguläre Astigmatismus ist ein solcher, welcher durch Cylindergläser nicht corrigirt werden kann. Man kann denselben, sowie den regulären Astigmatismus in einen normalen und abnormen eintheilen.

Ersterer hängt von der Linse ab und gibt sich als sogenannte Polyopia monocularis zu erkennen. Die durch die Vortices erzeugte Strahlenfigur an der vorderen und hinteren Fläche der Linse theilt dieselbe in mehrere Sectoren, deren Brechungsindices in etwas von einander verschieden sind, und deren jeder einzelne an und für sich astigmatisch ist.

Dadurch entsteht von sehr entfernten Lichtpunkten eine Reihe sich überkreuzender Lichtlinien, eine Strahlenfigur, in welcher uns die Form der Fixsterne erscheint. Man kann sich von der Existenz dieses Astigmatismus auch in der Weise überzeugen, dass man einen sehr kleinen schwarzen Punkt innerhalb der Nahepunktsdistanz sehr nahe vor sein Auge bringt. Man bemerkt dann nicht mehr den Punkt, sondern einen Kranz von kleinen grauen Flecken, welche, wenn man den Punkt wieder bis in den Nahepunkt entfernt, in einen schwarzen Punkt zusammenfliessen. Ein Beweis, dass dieser Astigmatismus von der Linse abhängig ist, ist der, dass er in aphakischen Augen nicht vorkommt.

Der abnorme irreguläre Astigmatismus hat seinen Grund theils in der Cornea, theils in der Linse. In der Cornea ist am häufigsten die durch geschwürige Processe hervorgerufene Unebenheit ihrer Oberfläche oder die durch entzündliche Erweichung ihrer Substanz unter der Intervention des intraoculären Druckes acquirirte unregelmässige Krümmungsvermehrung der Grund für die unregelmässige Brechung. Allerdings tragen die Trübungen, welche das Licht in hohem Grade diffundiren und die bei diesen Zuständen immer zugegen sind, viel zur Unkenntlichkeit des Bildes bei; die wesentliche Besserung jedoch, die zuweilen durch stenopäische Löcher erzielt wird, beweist, dass die bestehende Unklarheit des Bildes vor Allem der Effect des irregulären Astigmatismus sei. In zweiter Reihe steht die sogenannte Cornea conica, die sowohl angeboren als erworben vorkommt.

Auch hier zeigt sich der Nutzen von engen Spalten und Löchern.

Der von der Linse abhängige abnorme irreguläre Astigmatismus tritt theils als Polyopia unilateralis auf, abhängig von einer vermehrten Brechungsdifferenz der einzelnen Sectoren der Linse, wie z. B. bei Cataracta incipiens, theils als eine solche, die die Folge von Ectopia lentis, d. i. einer Verschiebung der Linse, ist, bei welcher der Aequator derselben das Pupillargebiet in einen linsenlosen und einen linsenbesitzenden Theil trennt. Wie wir uns von der Gegenwart eines solchen Zustandes überzeugen, wird in den späteren Capiteln, wo von dem Gebrauche des Augenspiegels und der schiefen Beleuchtung die Rede sein wird, gelehrt werden.

---

2. Capitel.

Die Pupillarbewegung und der Einfluss der Innervation und der Gefässfüllung auf dieselbe.

§ 30. Um die sphärische Aberration und den durch die Linse erzeugten, unregelmässigen Astigmatismus, aber auch um den Einfluss des regulären, von der Cornea abhängigen Astigmatismus zu verringern und abzuschwächen, ist das Auge mit einer Blendung versehen, welche eine beinahe central gelegene, zum Durchtritt der Strahlen bestimmte Oeffnung zeigt, die Pupille.

Die Blendung wird durch die Iris gebildet, deren anatomischen Bau wir als bekannt voraussetzen dürfen. In Bezug auf diesen wollen wir nur einen Punkt etwas genauer besprechen.

Bis vor Kurzem wurde fast allgemein angenommen, dass die Bewegung der Iris durch zwei Muskelgruppen, deren Wirkungsweise antagonistisch ist, hervorgebracht werde; die eine derselben, M. sphincter pupillae, dessen Existenz von allen Anatomen unzweifelhaft festgestellt und dessen Bau im Allgemeinen übereinstimmend beschrieben wurde, bildet ein aus glatten Muskelfasern bestehender, ringförmig um die Pupille angeordneter, etwa 2 mm breiter Muskel, welcher bei seiner Contraction die Pupille verkleinert. Dagegen ist sein Antagonist, der Dilatator pupillae, von den verschiedenen Forschern in verschiedenster Weise beschrieben, von manchen sogar dessen Existenz geleugnet worden. Die meisten nahmen an, dass dieser Muskel in der hinteren Begrenzungsschichte der Iris ein continuirliches Stratum von Muskelbündeln darstelle, welches einerseits am Sphincter, andererseits am Ciliarbande, mittelst radiär gestellter Fasern befestigt sei, und dass ähnliche Faserzüge, in den Gefässscheiden eingebettet, die Gefässe begleiten.

Diesem Muskel wurde die active Erweiterung der Pupille als Aufgabe zugewiesen.

In jüngster Zeit wurde jedoch überzeugend dargethan, dass die für Muskelbündel gehaltenen Faserzüge Nervenelemente sind, dass ferner keinerlei als Muskel anzusprechendes Gebilde mit Ausnahme des Sphincter in der Iris anzutreffen ist. Da nun sowohl physiologische als auch pathologische Thatsachen, sowie das Experiment für die Möglichkeit einer activen Erweiterung der Pupille sich mit voller Sicherheit aussprechen, so kann, das Fehlen eines Dilatators vorausgesetzt, eine solche Erweiterung nur durch Contraction der in der Iris äusserst zahlreichen Gefässe bewirkt werden, welche, radiär angeordnet, auch einen in radiärer Richtung wirkenden Zug auf den Pupillarrand ausüben müssen.

Da nun bei Annahme des Bestandes eines Dilatators eine active Erweiterung der Pupille nicht durch Contraction dieses Muskels allein, sondern nur durch gleichzeitige Zusammenziehung der Gefässe bewirkt werden könnte, weil sonst die stark bluthältige Iris, bei alleiniger Contraction des Dilatators, sich nicht auf einen schmalen Saum reduciren, sondern vielmehr einen dicken Wulst bilden würde, da ferner die

passive Erweiterung der Pupille bei Nachlass des Sphinctertonus durch das Lebendigwerden der Elasticität der Iris sich hinreichend erklären liess; da endlich die Annahme des Bestandes eines Dilatators die Existenz eines eigenen pupillenerweiternden Centrums neben einem vasomotorischen zur Voraussetzung hätte, so werden wir die Bewegung der Iris unter der Annahme erklären, dass kein selbständiger Dilatator pupillae vorhanden ist.

Die Bewegungen der Pupille können als active, durch den Sphincter oder durch die pupillenerweiternden Elemente bewirkte, aber auch als passive angesehen werden, welche bei Nachlass der Contraction des Sphincters durch die Elasticität der Iris erfolgen.

Hieraus ergibt sich, dass die Verengerung der Pupille nur eine active sein kann, während die Erweiterung derselben sowohl activ als auch passiv erfolgt.

Ob auch eine passive Verengerung der Pupille stattfindet, dafür sind die Untersuchungen noch zu keinem endgültigen Resultate gelangt.

Die Verengerung der Pupille erfolgt auf dem Wege des Reflexes und der Mitbewegung, und es ist auch wahrscheinlich, dass die active Erweiterung derselben auf denselben Wegen erfolgt.

Was zunächst die Verengerung der Pupille betrifft, so erfolgt dieselbe auf stärkeren Lichteinfall, indem die Erregungen der Netzhaut und des Sehnerven durch die reflectorischen Bahnen, welche von letzterem zum oculo-pupillären Centrum ziehen, dieses letztere miterregen und eine Contraction des Sphincters bewirken. Wird das Auge hierauf beschattet, so hört die stärkere Erregung der Netzhaut und des Sehnerven und mit ihr die der pupillenverengernden Fasern auf, und die Elasticität der Iris erweitert die Pupille zu ihrem normalen Stande und wohl auch noch etwas darüber hinaus.

Unter normaler Weite der Pupille versteht man jenen Durchmesser, welchen diese bei mässiger Belichtung zeigt. Derselbe wird dadurch erhalten, dass der Tonus des Verengerers der Pupille mit der Elasticität der Iris im Gleichgewichte steht. Verstärkt sich dieser Tonus bei Einfall stärkeren Lichtes, dann verengt sich unter stärkerer Spannung der Iris die Pupille, lässt dieser Tonus nach, wie bei Beschattung oder bei Parese des Muskels, dann erhält die Elasticität der Iris das Ueberwiegen und diese erweitert sich so stark, als es das Maass des Muskeltonus gestattet. Diese reflectorische Verengerung auf Licht beobachtet man vorzüglich dann, wenn das Centrum der Netzhaut von demselben betroffen wird, während die Peripherie derselben auf Lichtreize einen Pupillenreflex nicht hervorzurufen scheint.

Die Pupille gibt demnach einen Regulator für die Lichtmenge ab, von welcher das Centrum der Netzhaut getroffen wird, so dass dieses fast immer von einer gleichmässigen Lichtintensität erleuchtet wird.

Der Pupillenverengerung fällt aber auch die Rolle einer Mitbewegung zu, indem dieselbe bei Accommodation für die Nähe, sowie bei Convergenzbewegungen eintritt. Diese Mitbewegung kann man sogar in Fällen beobachten, wo der Pupillenreflex auf Licht in pathologischer Weise mangelhaft geworden ist oder vollständig fehlt.

Auch die Verengerung und Erweiterung der Pupille des zweiten Auges, wenn die Pupille des anderen auf reflectorischem Wege sich verengert und erweitert, muss als Mitbewegung aufgefasst werden und

erklärt sich aus den Faserverbindungen, welche die Centra beider Oculomotorii mit einander eingehen. Diese Bewegungen werden als consensuelle Pupillarbewegungen bezeichnet.

Wenn es auch noch nicht gelungen ist, einen genauen Maassstab zum Vergleiche der Stärke und der Raschheit der Pupillarbewegung an der direct getroffenen und an der sich consensuell mitbewegenden Pupille zu finden, so zeigt doch die Beobachtung an Augen, von welchen das eine an einer peripher vom Chiasma entstandenen Sehnervenatrophie oder einer intraoculären, die Sehschärfe stark herabsetzenden Erkrankung leidet, dass die Pupille dieses letzteren stärker erweitert ist als die des sehkräftigen Auges, woraus geschlossen werden darf, dass der vom Lichteinfall abhängige Tonus des Sphincters eines Auges sich nicht in demselben Grade auf das andere überträgt.

Die active Erweiterung der Pupille kann ebenso wie die Verengerung auf reflectorischem Wege und als Mitbewegung zustande kommen.

Durch sensible Reize jeder Art, dann durch Schreck, Zorn und andere Gemüthsaufregungen wird die Pupille in reflectorischer Weise dilatirt. Bei Anhalten des Athems, nach tiefer Inspiration, bei Asphyxie und starken körperlichen Anstrengungen sieht man ebenfalls die Pupille sich erweitern. Diese Erweiterung jedoch ist eine Mitbewegung, indem durch die Athempause die stärkere Anhäufung von Kohlensäure im Blute gefördert, durch welch letztere wieder nicht nur das Athmungscentrum erregt, sondern auch das benachbarte vasomotorische Centrum miterregt wird.

Fragen wir nun nach den Nervenbahnen, auf welchen die Innervationen der pupillenverengernden und -erweiternden Fasern zustande kommen, so wollen wir uns zunächst mit jenen für die Erregung des Sphincter pupillae beschäftigen.

Es ist auf experimentellem Wege bis zur Evidenz dargethan worden, dass der N. oculomotorius den Pupillenverengerer innervirt. Es ist ferner erwiesen worden, dass die verschiedene Augenmuskeln versorgenden Oculomotoriusfasern im Gehirne aus verschiedenen Gruppen von Nervenzellen entspringen, und auch der Ort der verschiedenen Ursprungskerne des Oculomotorius mit hinreichender Genauigkeit dargethan worden.

Die Oculomotoriuskerne sind nämlich am Boden des hinteren Endes der dritten Gehirnkammer, des Aquaeductus Sylvii, bis gegen die Rautengrube zu, angeordnet, und zwar liegt der Kern für die Accommodationsbewegung am weitesten nach vorne, sodann folgt das pupillenverengernde Centrum, und hieran schliessen sich die Kerne für die exterioren Augenmuskeln, und zwar entweder in einfacher Reihe oder, wie andere Forscher glauben, in einer Doppelreihe. Sicher ist nur, dass der Kern für den Musculus rectus internus zunächst dem pupillenverengernden liegt.

Durch diese Anordnung wird es verständlich, in welcher Weise die Innervation der Accommodation und der Adductoren eine Pupillenverengerung im Gefolge hat, indem bei jeder Erregung eines dieser Centra das zwischen ihnen liegende für den Sphincter pupillae miterregt wird. Es ist ferner constatirt, dass von den Kernen einer Seite Faserverbindungen mit den Kernen der anderen Seite bestehen, so dass

die consensuelle Miterregung dieser letzteren bei Erregung der ersteren leicht begreiflich wird.

Die Reflexbahnen, die von dem Sehnerven zu dem Centrum oculo-pupillare führen, werden durch Fasern dargestellt, welche, durch das Corpus geniculatum mediale zum Gangliengrau der Vierhügel ziehend mit den Oculomotoriuskernen eine Faserverbindung eingehen.

Um den Weg dieser Reflexfasern etwas genauer ins Auge zu fassen, ist es nothwendig, den Verlauf der Sehnervenfasern im Chiasma nervorum opticorum und im Sehnerven selbst zu kennen.

Pathologische Thatsachen und experimentelle Beobachtungen machen es zur Gewissheit, dass die Sehnerven sich im Chiasma des Menschen nicht vollständig überkreuzen, sondern dass ein Theil der Sehnervenfasern zu dem Tractus derselben Seite zieht.

Dieses Factum vorausgesetzt, frägt es sich, ob die Reflexfasern des Sehnerven zum Centrum für die Pupillenverengerung im gekreuzten, im ungekreuzten oder in beiden Bündeln verlaufen.

Die Wahrnehmung, dass bei der sogenannten homonymen Hemianopie die Pupillarreflexe, sowohl direct als in consensueller Weise, vollkommen normal vor sich gehen, beweist auf das Untrüglichste, dass die Reflexfasern des Sehnerven in beiden Bündeln verlaufen müssen.

Bei dieser Krankheit ist nämlich der Tractus einer Seite vollständig gelähmt, während der anderseitige Tractus vollkommen normal functionirt. Da nun von dem gelähmten Tractus das ungekreuzte Bündel die laterale Hälfte der Netzhaut des auf derselben Seite liegenden Auges versorgt, während das gekreuzte Bündel sich in der medialen Seite des anderen Auges ausbreitet, muss die der Seite des erkrankten Tractus gegenüberliegende Hälfte des Gesichtsfeldes vollständig verdunkelt sein, während die gleichnamige Hälfte desselben vollkommen normal bleibt.

Würden nun die Reflexfasern im ungekreuzten oder gekreuzten Bündel verlaufen, so müssten in ersterem Falle im gleichnamigen Auge, in letzterem Falle im ungleichnamigen, die Pupillarreflexe fehlen. Da jedoch diese Reflexe bei diesem Leiden stets in beiden Augen erhalten sind, so müssen die genannten Reflexfasern in beiden Bündeln verlaufen.

Eine weitere Betrachtung zwingt aber auch zur Annahme, dass jener Theil der Reflexfasern, welcher im gekreuzten Bündel verläuft, sich in das oculo-pupillare Centrum auf der mit dem Auge gleichnamigen Seite einsenken müsse. Denn wäre dies nicht der Fall und verliefen die im gekreuzten Bündel eingeschlossenen Reflexfasern, sowie die specifischen Sehnervenfasern nach der entgegengesetzten Seite, so müsste auf der Seite des erkrankten Tractus, da wegen Lähmung des ungekreuzten Bündels die gekreuzten Reflexfasern die Erregung durch Licht nach dem entgegengesetzten Centrum für die Pupillenverengerung leiten würden, eine verstärkte Beleuchtung des Auges eine rascher eintretende und stärkere Pupillenverengerung auf dem entgegengesetzten, als auf dem direct getroffenen Auge hervorrufen und die Pupille dieses letzteren nur in Folge der Mitbewegung enger werden.

Dies ist aber durchaus nicht der Fall, die Pupillarreflexe verlaufen, wie schon erwähnt, auch in solchen Augen in ganz normaler Weise, und diese Thatsache zwingt uns zu der Annahme, dass die gekreuzt verlaufenden Reflexfasern zum Pupillencentrum der gleichnamigen Seite umbiegen.

Die Nerven, welche der activen Erweiterung der Pupille vorstehen, können bei der Annahme des Fehlens eines Dilatators nur die vasomotorischen sein.

Da die Gefässe durch zweierlei entgegengesetzt wirkende Fasern innervirt werden, so könnte die Erweiterung der Pupille sowohl durch Erregung der Vaso-constrictores als auch durch Lähmung der Vaso-dilatatores erklärt werden. Die Wirkung einiger Alkaloide auf die Iris würde sogar den letzteren Fall plausibler erscheinen lassen als den ersteren, indem bei diesem angenommen werden muss, dass z. B. das Atropin, welches die Pupille lähmt, die Vaso-constrictores reizt, während bei Annahme der Lähmung der Vaso-dilatatores eine gleichmässige Wirksamkeit des Giftes auf die Endigungen beiderlei Nerven stattfinden würde. Dafür aber, dass bei einem solchen Vorgange die Vaso-constrictores von dem Gifte unberührt bleiben müssten, finden wir in der experimentellen Pathologie verschiedene Analoga, welche lehren, dass von zwei verschiedenen Nerven der eine von einem Gifte gelähmt, der andere aber intact bleiben kann.

Die vasomotorischen Nerven entstehen aus dem vasomotorischen Centrum in der Medulla oblongata und treten mit den vorderen Wurzeln der zwei untersten Hals- und der oberen zwei Brustwirbel hervor, um sich an den Grenzstrang des Sympathicus zu begeben und mit diesem der Hauptmasse nach bis zum Ganglion cervicale supremum aufzusteigen. Von hier aus treten mehrere Aeste an die Carotis interna, bedecken dieselbe mit einem Netzwerk und senden Aeste zum Trigeminus und zum Oculomotorius. Ausserdem senden sie die Radix sympathica zum Ganglion ciliare und begleiten die Arteria ophthalmica mit einem dieselbe umstrickenden Netze.

Von diesen Punkten aus lassen sie sich nicht weiter verfolgen. Durch das physiologische Experiment ist nur so viel sicher gestellt, dass die vom Trigeminus abstammenden Nn. ciliares longi sympathische Fasern dem Auge zuführen, während es für die aus den Ciliarknoten herrührenden Nn. ciliares breves nicht sicher ist, ob sie namentlich der Iris vasomotorische Nervenfasern zuleiten.

Diejenigen Forscher, welche die Existenz eines Dilatator pupillae annehmen, sind gezwungen, ein eigenes cilio-spinales Centrum (Budge) zu supponiren und vorauszusetzen, dass bei activer Erweiterung der Pupille sowohl dieses als auch das vasomotorische Centrum gleichzeitig erregt werde.

Es ist schwer, für die normale und somit auch für die abnorme Pupille einen bestimmten grössten Maassstab festzustellen; es schwankt nämlich die individuelle Grösse der Pupille in weiten Grenzen. Man darf annehmen, dass die normal weite Pupille einen Durchmesser von 3—6 mm hat, doch wird bei einigen Personen ein Diameter von 6 mm schon eine Mydriasis und bei anderen ein solcher von 3 mm schon eine Myosis bedeuten. Es ist desshalb am sichersten, nur dann von Mydriasis zu sprechen, wenn die Pupille nicht nur weit, sondern auch starr ist, und von Myosis, wenn sie nicht nur eng ist, sondern auch keine Beweglichkeit zeigt. Allerdings gibt es auch Zustände, bei welchen die Pupille bei normaler Weite sich starr erweist, und andererseits wieder solche, bei welchen sie, wenn auch abnorm weit oder abnorm eng, die normalen Reflexe aufweist. In solchen Fällen werden

wir eben von normal weiten und starren Pupillen, resp. von abnorm weiten oder abnorm engen und reagirenden Pupillen sprechen.

Wir müssen schliesslich noch in Erwägung ziehen, ob die physiologischen und pathologischen Erweiterungen der Pupille sich vollkommen bei dem Mangel eines Dilatators aus der Innervation der vasomotorischen Irisnerven erklären lassen, und ob die Erscheinungen bei Lähmung der pupillenerweiternden Nerven sich mit denjenigen der Lähmung der Vasomotoren vollständig decken. Hierbei müssen wir auch die Erscheinungen, wie sie bei Einwirkung pupillenerweiternder und -verengernder Mittel zu Tage treten, mit in Rechnung ziehen.

Die reflectorische und die als Mitbewegung auftretende Dilatation der Pupille lassen sich leicht durch eine Erregung der vasomotorischen Gefässfasern erklären, indem durch dieselbe die Gefässe zur Contraction gebracht, der Abfluss aus den Venen beschleunigt, der Zufluss zu den Arterien beschränkt und in solcher Weise das Volumen der Iris, die dem Zuge der sich contrahirenden, radiär verlaufenden Gefässe folgt, wesentlich verkleinert wird.

Sind die vasomotorischen Fasern der Iris gelähmt, so wird der Tonus des Sphincter pupillae überwiegen und diese so weit verengern, als es die Elasticität der Iris zulässt. Selbstverständlich ist mit der Lähmung der Vasomotoren eine Erweiterung der Irisgefässe und somit eine Vermehrung der Blutmenge verbunden.

Wäre diese mit Sicherheit in allen jenen Fällen zu constatiren, in welchen die pathologische Verengerung der Pupille auf einer Lähmung der pupillenerweiternden Fasern beruht, so würde die Annahme, dass diese Fasern die vasomotorischen sind, sich zur unbestreitbaren Thatsache umwandeln.

Wir sehen wohl häufig in stark gereizten Augen gleichzeitig mit Verengerung der Pupille eine stärkere Blutfüllung der Iris eintreten, welche wir theils aus der Farbenveränderung dieser Membran, theils aus dem Sichtbarwerden einzelner Gefässe diagnosticiren können, ohne aber dass wir die Erweiterung der Gefässe auf eine Lähmung der Vasomotoren zurückzuführen vermöchten. Die Symptome für die stärkere Blutfüllung in Augen, deren vasomotorische Irisfasern gelähmt sind, fehlen jedoch, und es ist uns nicht gestattet, die letztere anzunehmen, ohne sie constatiren zu können.

Allerdings kennen wir einen pathologischen Zustand, welcher mit Sicherheit auf Lähmung der vasomotorischen Nerven beruht, ohne dass dabei aus dem Aussehen der Iris auf eine Hyperämie derselben geschlossen werden könnte.

Es ist dies die sogenannte Ptosis sympathica, deren Bild sich aus einer Gruppe von Symptomen zusammensetzt, welche sämmtlich aus der Lähmung sympathischer Fasern hervorgehen. Diese Erscheinungen sind: Die Ptosis, als Folge der Lähmung der glatten Muskelfasern des Oberlides, die Myosis, als Folge der Lähmung der vasomotorischen Irisnerven, und die halbseitige Röthung des Gesichtes, als Folge der Lähmung der die Gefässe der Gesichtshaut verengenden, vasomotorischen Fasern. Haben wir hier eine sicher gestellte, vasomotorische Störung ohne die sichtbaren Zeichen einer Blutüberfüllung der Iris, so wird dadurch die Annahme mächtig gestützt, dass jede Myose in Folge der

Lähmung von dilatirenden Elementen aus einer vasomotorischen Störung hervorgegangen sei.

Der Vergleich jedoch mit den Erscheinungen der Iris in gereizten Augen legt uns die Vermuthung nahe, dass die Gefässerweiterung bei letzteren eine durch eine active Reizung der Vaso-dilatatores hervorgerufene und die Verengerung der Pupille eine passive, durch Volumszunahme der Iris bedingte sei. Setzen wir dies voraus, dann dürfen wir daraus den Schluss ziehen, dass das Aussehen der Iris bei Lähmung der Vasomotoren ein anderes sein müsse, als im gereizten Auge.

Diese hier vorgebrachten Ansichten werden sich ferner aus der Art der Einwirkung gewisser Alkaloide auf die Pupille begründen lassen. Diese Alkaloide sind theils pupillenerweiternde, theils solche, welche die Pupille verengern.

Die Pupillenerweiternden müssen wir in solche trennen, welche den Sphincter pupillae lähmen und gleichzeitig die erweiternden Fasern reizen, und dann in solche, welche die letztere Wirkung ohne die erstere äussern. Diejenigen Forscher, welche die Existenz eines Dilatators behaupten, werden durch die Wirkungsweise der dilatirenden Gifte der ersten Gruppe in ein arges Dilemma hineingetrieben, indem sie annehmen müssen, dass diese Mittel die glatten Muskelfasern des Sphincters lähmen und die zunächst benachbarten Muskelfasern des Dilatators reizen. Aber auch die erweiternden Mittel der zweiten Gruppe müssen ihnen Verlegenheiten bereiten, da sie annehmen müssten, dass durch dieselben der Dilatator gereizt, der Sphincter aber von ihnen unberührt bleibe.

Auch die pupillenverengernden Alkaloide lassen sich in zwei Gruppen theilen, und zwar in solche, durch welche der Sphincter pupillae zu einer krampfhaften Contraction gebracht wird, und in solche, durch welche die Erweiterer der Pupille gelähmt werden, während der Verengerer normal functionirt.

In die erste Gruppe der pupillenerweiternden Alkaloide gehört das Atropin, das Duboisin, Hyoscyamin und das Daturin.

Das Atropin (das Alkaloid von Atropa Belladonna) ist als schwefelsaures Salz das gebräuchlichste Mydriaticum. Ein Tropfen einer 1%igen Lösung erzeugt in gesunden Augen binnen 10—15 Minuten eine maximale Pupillenerweiterung, welche 2—3mal 24 Stunden anhält, um allmälig binnen weiteren 6—8 Tagen vollständig aufzuhören. Mit der Pupillenerweiterung geht eine Lähmung des Accommodationsmuskels einher, deren Vollständigkeit etwas später als die Mydriase erreicht wird und auch früher als die letztere abklingt.

Schwächere Dosen rufen auch eine kürzer andauernde Mydriase hervor, doch kann noch eine Gabe von 1 : 120 000 Pupillenerweiterung erzeugen. Das Atropin lähmt den Sphincter pupillae und reizt die vasomotorischen Fasern der Iris. Am besten lässt sich dies nachweisen in Fällen, wo der Sphincter gelähmt und eine Mydriase mittleren Grades zustande gekommen ist. Instillirt man in ein solches Auge einen Tropfen einer wirksamen Atropinlösung, so entsteht eine maximale Mydriase.

In Folge des Stromhindernisses, welches durch die Verengerung der Irisgefässe im Ciliargefässgebiete gesetzt wird, muss der Blutdruck

in den Ciliargefässen steigen und in Folge dessen auch der intraoculäre Druck.

Dies ist der Grund der glaucomatösen Anfälle, welche zuweilen in disponirten (alten) Augen durch Atropinanwendung auftreten.

Aehnlich wie das Atropin wirkt das Duboisin (von Duboisia myoporioides), welches ebenfalls als schwefelsaures Salz benutzt wird, nur ist dessen Wirkung rascher und kräftiger, aber weniger andauernd.

Auch das Hyoscyamin (von Hyoscyamus niger) und das Daturin (von Datura Stramonium) wirken ebenfalls in ähnlicher Weise wie Atropin und soll die Wirkung eine raschere und kräftigere sein.

Etwas verschieden von diesen Mitteln ist die Wirkungsweise des Homatropinum bromatum, indem dieses Salz eine rasche, jedoch nicht maximale Pupillenerweiterung hervorruft, die nach 24 Stunden wieder vollständig verschwunden ist.

Die zweite Gruppe der pupillenerweiternden Mittel wird durch das Cocaïn (von Erythroxylon coca) repräsentirt. Dieses äusserst kräftige Anästheticum für die Binde- und Hornhaut, erweitert auch in seiner gewöhnlichen Anwendungsweise als 2—5%ige Lösung des salzsauren Salzes die Pupille 15—20 Minuten nach seiner Anwendung. Die Mydriase ist selten eine maximale und die Pupille behält stets ihre Reaction auf Licht. Gleichzeitig tritt bei Wirkung der Cocaïnlösung Verblassung der Bindehaut und eine starke Hebung des obern Lides auf. Alle diese Erscheinungen müssen als Reizung sympathischer Fasern aufgefasst werden, und zwar der vasomotorischen Nerven der Bindehaut und Iris und der Sympathicusfasern des Müller'schen organischen Muskelstratums, des Erweiterers der Lidspalte.

Wie schon früher erwähnt, könnte bei Bestand eines Dilatators eine Reizung dieses letzteren desshalb nicht angenommen werden, weil die Reaction der Pupille auf Licht durch das Cocaïn vollkommen unberührt bleibt.

Aehnlich wie das Cocaïn, sowohl in Bezug auf die Mydriase als auch auf die Anästhesirung der Conjunctiva und Cornea wirkt das Apomorphin. Jedoch scheint hiebei auch der Sphincter paretisch zu werden, indem die Reaction auf Licht als träge angegeben wird.

Von den pupillenverengernden Alkaloiden müssen wir die Calabarpräparate, das Pilocarpin, Nicotin, Morphin und Muscarin erwähnen, welches letztere in die zweite Gruppe der myotischen Mittel gehört.

Alle Gifte der ersten Gruppe rufen einen Krampf des Sphincters und Accommodationskrampf hervor und wirken gleichzeitig druckvermindernd. Diese Druckverminderung macht es wahrscheinlich, dass die Widerstände für den Blutdruck in der Iris verringert werden, sei es durch eine active oder passive Erweiterung der Gefässe. Hiebei muss der Blutdruck in den Ciliargefässen und mit ihm der intraoculäre Druck sinken.

Die Pupille ist bei Anwendung dieser Mittel nicht nur eng, sondern auch starr.

Die wirksamsten unter diesen Alkaloiden sind das Eserin oder Physostigmin (von der Calabarbohne, Physostigma venenosum, stammend) und das Pilocarpin (von Pilocarpus pennatifolius [Folia Jaborandi]).

Die maximale Myosis wird durch eine 1%ige Lösung des schwefelsauren Eserins und durch eine 2—4%ige Lösung des salzsauren Pilocarpins in etwa einer halben Stunde erreicht, wobei die Pupille die Grösse eines Stecknadelkopfes annimmt. Nach 2—3 Stunden beginnt wieder die Erweiterung und nach 24—48 Stunden ist die Pupille wieder vollkommen normal.

Die durch diese Mittel hervorgerufene krampfhafte Contraction des Ciliarmuskels beginnt schon 5 Minuten, nachdem dasselbe in die Lidspalte gebracht worden ist, erreicht seine Höhe gleichzeitig mit dem Höhepunkte der Myosis, lässt aber alsbald nach, um in der Regel nach 2—3 Stunden wieder zu verschwinden.

Eine ähnliche Wirkung, wie die genannten Gifte, hat auch das Nicotin (von Nicotiana tabacum), welches ebenso, wie die früher erwähnten Myotica, die Oculomotoriusfasern reizen, die pupillenerweiternden (vasomotorischen) lähmen soll.

Die zweite Gruppe der pupillenverengernden Mittel wird durch das Muscarin (das Alkaloid des Fliegenschwammes Agaricus muscarius) dargestellt. Dasselbe zeichnet sich vor den übrigen pupillenverengernden Mittel durch besondere Eigenschaften aus.

Es erregt nämlich schon in kleinen Dosen Accommodationskrampf, während die Myosis erst durch starke Gaben erzielt werden kann. Bei der letzteren ist jedoch die Pupille nicht starr, sondern reagirt normal auf Licht.

Wenn auch diese Angaben einander widersprechen, da nicht abzusehen ist, wesshalb die Oculomotoriusenden im Sphincter pupillae sich gegen das Mittel immun erweisen sollten, während die Endigungen desselben Nerven im Ciliarmuskel durch dasselbe gereizt werden, so kann man die Beobachtung, dass die Pupille reactionsfähig bleibt, dennoch nicht anders deuten, als dass die vasomotorischen Nerven der Iris durch das Gift gelähmt werden, während die Sphincterfasern frei bleiben.

Wir haben die Mydriatica und Myotica bisher als topische Mittel beschrieben, wobei die Einwirkung direct auf die peripheren Endigungen der Nerven stattfindet. Alle diese Mittel äussern ihre specifische Einwirkung auf die Pupille mehr oder weniger auch vom Blute aus, nur werden, wenn diese Gifte innerlich oder hypodermatisch angewendet werden, beide Pupillen afficirt und treten noch andere Allgemeinerscheinungen auf, deren Detaillirung nicht in den Rahmen dieser Abhandlung gehört.

Es gibt aber noch eine Reihe derselben, welche auf die Centralorgane für die Irisnerven einwirken, während sie, local angewendet, mit Ausnahme des Morphins, keine Veränderung der Pupille hervorrufen.

Von den mydriatischen Mitteln ist in dieser Beziehung das Strychnin und das Curare hervorzuheben, welche beide lähmend auf die quergestreiften Muskelfasern und schliesslich auch auf die glatten einwirken.

Von den myotischen Mitteln sind das Morphin, das Chloroform und Chloralhydrat zu nennen. Das Morphin wirkt als topisches Mittel auf ein Auge oder vom Blute aus auf beide Pupillen. Nur im letzteren Falle geht seine Wirkung von Centrum der Irisnerven

aus, während es sich in ersterem Falle wie die anderen pupillenverengernden Topica verhält.

Die Wirkung des Chloroforms auf den Menschen, gegenüber den Erscheinungen bei Thieren, zeigt am deutlichsten, dass das Verhalten der Pupille der letzteren gegenüber all den besprochenen Giften nur mit gewisser Reserve auf den Menschen zu übertragen ist. Unter dieser Voraussetzung werden nur jene Mittel, welche auch beim Menschen angewendet werden dürfen, sichere Daten über ihre Wirkung auf diesen liefern.

Während beim Kaninchen im Excitationsstadium der Chloroformnarcose die Pupille sich verengt, im Depressionsstadium aber sich erweitert, während ferner beim Hunde durch die ganze Narcose hindurch Mydriasis besteht, lehren übereinstimmende Beobachtungen beim Menschen, dass in Stadio excitationis die Pupille sich erweitert, im Depressionsstadium sich bis zur höchstgradigen Myosis verengt, während sie im toxischen Stadium, wenn Lebensgefahr eintritt, sich plötzlich wieder erweitert.

Offenbar beruht die Erweiterung der Pupille im Beginne der Narcose auf Reizung des vasomotorischen Centrums, da stärkerer Lichteinfall noch deutliche Pupillenreaction gibt.

Die später eintretende hochgradige Myosis ist auf Erregung des Oculomotoriuskernes zurückzuführen, während die schliessliche Erweiterung die Lähmung dieses Centrums und gleichzeitig die Reizung des vasomotorischen Kernes anzeigt.

Aehnlich wie Chloroform wirkt das Chloralhydrat und wird dessen Wirkungsweise erst bei grösseren Gaben deutlich.

Schliesslich haben wir noch zwei Erscheinungen zu erwähnen. Es sind der Hippus und das Irisschlottern, Iridodonesis, sive Iris tremulans.

Der Hippus besteht in einer abwechselnden Zusammenziehung und Erweiterung der Pupille, wodurch Blendung und Sehstörung erzeugt wird. Diese seltene Erscheinung beobachtet man zuweilen während der Heilung einer Oculomotoriusparalyse und bisweilen in Verbindung mit Nystagmus. Der Grund dieser Anomalie ist vorläufig noch unaufgeklärt.

Iridodonesis tritt ein, wenn die Linse nicht mehr oder nicht vollständig die Stütze für die Iris abgibt, und besteht in einer wellenartigen Bewegung der Regenbogenhaut, an welcher auch der Pupillarrand, jedoch in geringerem Grade, betheiligt ist.

Sie kommt nach Cataractextractionen oder Luxationen der Linse, bei der angeborenen Ectopia lentis, endlich bei geschrumpften Staaren vor.

---

3. Capitel.

Untersuchung des Auges mittelst schiefer Beleuchtung und Loupen.

§ 31. Bevor wir in das Meritorische dieser Untersuchungsmethoden eingehen, müssen wir von der Lehre über die Loupe und die durch dieselbe bewirkte Vergrösserung handeln, und das um so mehr, als wir in dem Capitel über die Untersuchung des Auges mittelst des Ophthalmoskops die jetzt zu entwickelnden Grundsätze häufig werden anwenden müssen.

Wir haben schon in der Einleitung erwähnt, dass Objecte, welche unter demselben Gesichtswinkel erscheinen, dieselbe „scheinbare Grösse" besitzen.

So können z. B. ein entfernter Berg und die Spitze eines Bleistiftes, die wir nahe vor unser Auge halten, dieselbe scheinbare Grösse haben, oder was dasselbe ist, das Netzhautbildchen der beiden genannten Objecte ist gleich gross.

Dass uns dennoch der entfernte Berg gross, die Bleistiftspitze aber klein vorkommt, hat seinen Grund darin, dass wir im ersten Falle die Empfindung des Netzhautbildes weit vom Auge weg, im letzteren Falle nahe an dasselbe verlegen und in dieser Weise eine richtige Vorstellung von der absoluten Grösse der Objecte gewinnen. Nähern wir ein Object, z. B. einen Schlüssel, aus einer Entfernung von etwa 16″ allmälig unserem Auge, so ändert sich beständig die scheinbare Grösse desselben, indem das Netzhautbild immer grösser wird, und zwar derart, dass es in 8″ zweimal und bei 4″ viermal grösser ist, als jenes, welches der Schlüssel in 16″ entwirft. Dennoch erscheint uns der Schlüssel in allen diesen Entfernungen gleich gross und entsprechend seiner absoluten Grösse, weil wir bei solchen Convergenzen resp. bei den hier erforderlichen Accommodationsquoten ein sicheres Urtheil über die Entfernung des Objectes gewinnen.

Schiesst ein Object sehr rasch durch das Gesichtsfeld, so dass wir wegen dieser Raschheit oder wegen Mangel an Aufmerksamkeit dessen Entfernung nicht zu beurtheilen vermögen, so können wir uns über die Grösse desselben täuschen, indem wir einen kleinen und nahen Gegenstand für gross und entfernt, oder einen grossen und entfernten für nah und klein halten können.

Diese Täuschung über die Grösse der Objecte wollen wir scheinbare Vergrösserung oder Verkleinerung nennen. Unser richtiges Urtheil über die absolute Grösse eines Objectes hängt demnach von der richtigen Schätzung der Entfernung ab, in welcher sich dasselbe befindet. Wird unser Urtheil über die Tiefenlage durch irgend einen Umstand getäuscht, so muss eine scheinbare Vergrösserung oder eine scheinbare Verkleinerung des Objectes eintreten.

Die bekannteste und gewöhnlichste dieser Täuschungen über die Grösse der Objecte ist die Verkleinerung ferngelegener Gegenstände. Die Ursache dieser Verkleinerung liegt darin, dass wir unsere Empfindung nicht an den Ort des Objectes, sondern viel näher verlegen, so z. B. den Mond ungefähr dorthin, wo wir die Wolken sehen, u. s. w.

Weniger bekannt ist es, dass wir Gegenstände, welche wir sehr nah vor unser Auge, also innerhalb der Nahepunktsdistanz unserer Accommodation bringen, weiter von uns weg verlegen und desshalb grösser sehen.

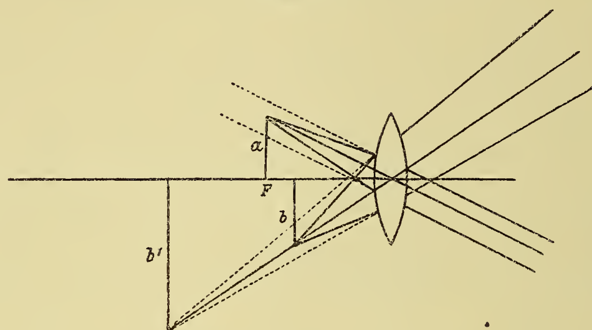
Bei der Untersuchung mit Loupen tritt sowohl eine Vermehrung der scheinbaren Grösse, als auch eine scheinbare Vergrösserung ein.

Loupen sind Sammelgläser von kurzer Brennweite.

Wir sehen in Fig. 21, dass, wenn ein Object im Brennpunkte oder innerhalb der Brennweite einer Convexlinse sich befindet, von demselben virtuelle, in unendlicher resp. in grösserer endlicher Entfernung liegende Bilder entworfen werden.

So liegt das Bild von a in unendlicher Entfernung, weil die von diesem Objecte ausgehenden Strahlen durch die Linse parallel gemacht werden, als kämen sie von unendlicher Entfernung her.

Fig. 21.



Das Bild von b liegt aber in $b_{,,}$ weil die von b ausgehenden Strahlen auch nach der Brechung noch immer divergent sind, wenn auch weniger als vor dieser.

Die Lage solcher virtueller Bilder ist aus der uns bekannten Linsenformel leicht zu finden.

Es ist nämlich

$$\frac{1}{f_{,,}} = \frac{1}{F} - \frac{1}{f_{,}} = \frac{f_{,} - F}{F f_{,}}$$

die Entfernung des virtuellen Bildes vor der Vorderfläche der Linse, da $F > f$ und desshalb der Ausdruck negativ wird.

Ist $f_{,} = F$, d. i. befindet sich das Object im vorderen Brennpunkte, dann ist

$$f_{,,} = \frac{F f_{,}}{f_{,} - F} = \frac{F^2}{0} = \infty,$$

d. i. das virtuelle Bild liegt in unendlicher Entfernung.

Die Vergrösserung des Objectes finden wir aus der Formel d)

$$\frac{\beta_{,}}{\beta_{,,}} = -\frac{l_{,}}{F_{,}}.$$

Befindet sich nun das Object im vorderen Brennpunkte, ist also $f_{,} = F_{,}$ und $l_{,} = f_{,} - F_{,} = F_{,} - F_{,} = 0$, so wird aus obiger Gleichung:

$$\frac{\beta_{,}}{\beta_{,,}} = -\frac{0}{F_{,}},$$

woraus $\beta_{,,} = \infty$ folgt.

Um die Vergrösserung, welche von Loupen von verschiedener Brennweite erzeugt wird, mit einander zu vergleichen, ist der letztere Ausdruck unbrauchbar, und die älteren Optiker berechneten diese Vergrösserungen unter der Annahme einer „mittleren deutlichen Sehweite“ und unter Vernachlässigung der Distanz zwischen Knotenpunkt des Auges und Centrum der Linse.

Es wurde schon früher erwähnt, dass man unter mittlerer deutlicher Sehweite jene Entfernung verstand, in welcher ein dünner, schlanker Gegenstand, z. B. eine Nadel oder ein Faden, durch eine feine Oeffnung gesehen, einfach erscheint, während er vor oder hinter diesem Punkte in Doppelbilder zerfällt. Es wurde auch schon die Erklärung für diese Erscheinung dahin abgegeben, dass bei Unkenntniss der Entfernung des Gegenstandes und bei der Vorstellung, dass derselbe in grösserer Nähe sich befindet, eine mittlere Accommodationsquote innervirt werde, und zwar eine solche auf 8—10″. Unter den erwähnten Voraussetzungen liess sich demnach die Vergrösserung leicht berechnen, wenn man $f_{,,} = 8$, 9 oder 10″ setzt.

Denn ist z. B. $f_{,,} = 9''$, so ist

$$f_{,} = \frac{9\,F_{,}}{9 + F_{,}} \quad \text{und} \quad l_{,} = -\frac{F_{,}^{2}}{9 + F_{,}} \quad \text{und} \quad \frac{\beta_{,,}}{\beta_{,}} = \frac{9}{F_{,}} + 1.$$

Setzen wir für $F_{,} = 2''$, so wird aus der letzten Gleichung, da $\beta_{,} = 1$ ist, d. i. die absolute Grösse des Objectes darstellt,

$$\beta_{,,} = 5\tfrac{1}{2}.$$

Ist $F_{,} = 3''$, so wird $\beta_{,,} = 4$, für $F_{,} = 4''$ wird $\beta_{,,} = 3\tfrac{1}{4}$ u. s. f.

Es wurde ferner behauptet, die Loupe vergrössere nur insofern, als es durch dieselbe möglich sei, Gegenstände in einer Nähe wahrzunehmen, für welche unsere Accommodation nicht ausreicht, woraus eine Vergrösserung des Netzhautbildes resultiren muss.

Alle diese Voraussetzungen jedoch sind unrichtig. Weder entspricht die Vergrösserung durch die Loupe dem in Folge der grösseren Annäherung des Objectes vergrösserten Netzhautbilde, noch ist die Vernachlässigung der Distanz zwischen Knotenpunkt und Centrum der Loupe gleichgültig, wenn das Object innerhalb der Brennweite sich befindet, endlich existirt keine „mittlere deutliche Sehweite“.

Wohl aber versetzen wir, wenn wir durch die Loupe über den Ort des Objectes getäuscht werden, ganz unabhängig von dem bestehenden Accommodationszustande, die Empfindung des Netzhautbildes in eine Entfernung von 8—10″, weil wir von der Vorstellung beherrscht sind, einen nahe gelegenen Gegenstand vor uns zu haben. Dies geschieht auch, wenn sich das Object im Brennpunkte befindet und die Accommodation wegen des Parallelismus der Lichtstrahlen vollkommen entspannt werden muss.

Hievon kann man sich am leichtesten durch die Beobachtung an einem einfachen Apparate überzeugen.

Trennen wir die Eindrücke beider Augen durch eine verticale, in der Meridianebene gelegene Wand, und bringen wir auf jeder Seite dieser Wand je ein auf dieselbe senkrecht stehendes Brettchen an, welches von hinten nach vorn gegen die Augen vor- und zurückgeschoben werden kann, ist ferner an dem den Augen zugekehrten Rande der Scheidewand in der Höhe derselben auf einer Seite eine Klemme angebracht, in welche eine Loupe hineingepasst wird, so kann man folgendermassen vorgehen. Man schiebt das Brettchen auf der Seite der Loupe soweit gegen dieselbe, bis eine auf dem ersteren angebrachte Zeichnung im Brennpunkte der letzteren steht. Das durch

die Loupe sehende, emmetropische Auge erkennt die Zeichnung deutlich, vergrössert und diese, sowie das Brettchen selbst scheinbar in grösserer Entfernung liegend. Verschiebt man nun das dem unbewaffneten Auge zugekehrte und von diesem betrachtete zweite Brettchen soweit nach vorne, bis es mit dem durch die Loupe betrachteten in einer und derselben verticalen, der Grundlinie parallelen Ebene zu liegen scheint, so wird ein am oberen Rande der Scheidewand angebrachter Maassstab diese scheinbare Entfernung stets mit 8—10″ angeben.

Panum, der die Irrthümer bei der früheren Berechnung der Loupenvergrösserung richtig erkannt hatte, fand, unter Berücksichtigung der Entfernung zwischen Knotenpunkt und Centrum der Linse, durch Construction eine richtige Formel für die Berechnung der Vergrösserung des Netzhautbildes beim Gebrauche einer Loupe.

Diese Formel lautet:

$$\frac{1}{1 - \frac{f_, d}{F (f_, + d)}}$$

in etwas geänderten Buchstaben, wo wir gewohnter Weise mit $F_,$ die Brennweite der Loupe, mit $f_,$ die Distanz des Objectes vom Centrum der Linse und mit d die Distanz zwischen letzterem und dem Knotenpunkte des Auges bezeichnen.

Diese Formel drückt aber nur die Vergrösserung des Netzhautbildes durch die Loupe im Vergleiche mit jenem aus, welches das Object in derselben Entfernung ohne die Dazwischenkunft der Loupe entwerfen würde. Sie wäre ein Ausdruck für die Vergrösserung durch die Loupe, wenn wir das Object an dem Orte sehen würden, an welchem es sich wirklich befindet. Wir werden aber durch die Loupe, wie wir früher gesehen haben, über die Lage des Objectes getäuscht, wobei wir dasselbe beträchtlich weiter weg vom Auge verlegen, woraus auch eine beträchtlich grössere scheinbare Vergrösserung resultirt.

Wollen wir aber diese Vergrösserung berechnen, so müssen wir das Verhältniss der Grösse des Netzhautbildes zur absoluten Grösse des Objectes in derselben Entfernung vom Auge, aber ohne Intervention der Loupe kennen.

Diese Verhältnisszahl müssen wir sodann mit der Panum'schen Formel multipliciren, um einen Ausdruck für die Grösse des durch die Loupe vergrösserten Netzhautbildes zu erhalten.

Schliesslich müssen wir die Grösse der Projection dieses vergrösserten Netzhautbildes nach 8″ berechnen.

Die Entfernung des Objectes vom Knotenpunkte des Auges ist $f_, + d$, die Entfernung der Netzhaut vom Knotenpunkte bezeichnen wir mit $g_{,,}$, der Ausdruck für die Bildgrösse ist daher $\frac{g_{,,}}{f_, + d}$.

Die Grösse des durch die Loupe vergrösserten Netzhautbildes im Verhältniss zum Objecte ist daher:

$$\frac{1}{1 - \frac{f_, d}{F (f_, + d)}} \times \frac{g_{,,}}{f_, + d} \quad \ldots\ldots\ldots \quad f)$$

Aus diesem Producte lassen sich mehrere für die Loupe geltende Gesetze ableiten.

1. Ist $f_, = F$ und wir setzen in obiges Product statt $f_,$ den Werth F, so haben wir:

$$\frac{1}{1 - \frac{F\,d}{F\,(F + d)}} \times \frac{g_{,,}}{F + d} = \frac{1}{\frac{F\,(F + d) - F\,d}{F\,(F + d)}} \times \frac{g_{,,}}{F + d} =$$

$$\frac{1}{\frac{F\,(F + d - d)}{F\,(F + d)}} \times \frac{g_{,,}}{F + d} = \frac{1}{\frac{F}{F + d}} \times \frac{g_{,,}}{F + d} =$$

$$\frac{F + d}{F} \times \frac{g_{,,}}{F + d} = \frac{g_{,,}}{F}.$$

In diesem Ausdrucke kommt d nicht vor, woraus sich ergibt, dass das Netzhautbild in diesem Falle immer gleich gross ist, wie gross auch immer die Distanz zwischen Loupe und Auge sein möge. (Siehe Punkt I in der Einleitung pag. 17.)

2. Ist $f_, <$ als F, so dass $f_, = F - \Delta$, so wird aus obenstehendem Producte folgender Ausdruck entstehen:

$$\frac{1}{1 - \frac{(F - \Delta)\,d}{F\,(F - \Delta + d)}} \times \frac{g_{,,}}{F - \Delta + d} =$$

$$\frac{1}{\frac{F\,(F - \Delta + d) - (F - \Delta)\,d}{F\,(F - \Delta + d)}} \times \frac{g_{,,}}{F - \Delta + d} =$$

$$\frac{g_{,,}}{\frac{[F\,(F - \Delta + d) - (F - \Delta)\,d]\,[F - \Delta + d]}{F\,(F - \Delta + d)}} =$$

$$\frac{g_{,,}}{\frac{F\,(F - \Delta + d) - (F - \Delta)\,d}{F}} = \frac{g_{,,}}{\frac{F\,(F - \Delta + d - d) - \Delta\,d}{F}} =$$

$$\frac{g_{,,}}{F - \Delta - \frac{\Delta\,d}{F}} = \frac{g_{,,}}{F - \Delta\left(1 + \frac{d}{F}\right)}.$$

In diesem Ausdrucke sind d und F constante, Δ aber eine variable Grösse, der Wert des Bruches wird desshalb von der Grösse von Δ abhängig sein.

So lange der Factor $\Delta\left(1 + \frac{d}{F}\right)$ kleiner als F ist, so wird bei steigendem Werthe von Δ der Nenner immer kleiner, also der Bruch immer grösser werden.

Da, wenn Δ grösser wird, $f_,$ kleiner werden muss, so ergibt sich aus diesem Ausdrucke, dass das Netzhautbild um so grösser wird, je

näher das Object an die Loupe heranrückt, vorausgesetzt, dass d nicht zu gross ist.

Dieses Resultat ist in dem von mir aufgestellten Punkte IV (Einleitung pag. 17) ausgesprochen.

Wird in dem letzten Ausdrucke $\Delta = F$, also $f_{,} = 0$, dann ist:

$$\frac{g_{,,}}{F - \Delta\left(1 + \frac{d}{F}\right)} = \frac{g_{,,}}{F - F\left(1 + \frac{d}{F}\right)} = \frac{g_{,,}}{F - F + \frac{F\,d}{F}} = \frac{g_{,,}}{d},$$

woraus sich ergibt, dass in dem Falle, als das Object bis an die Vorderfläche der Loupe herangerückt ist, die Vergrösserung des Netzhautbildes durch die Loupe aufhört und ersteres ebenso gross ist, als der Entfernung und der absoluten Grösse des Objectes entspricht.

Der Werth der Panum'schen Formel wird dabei $= 1$, weil $f_{,} = 0$ ist und die zweite Grösse im Nenner somit wegfällt, wodurch ebenfalls ausgedrückt ist, dass das durch die Loupe erzeugte Netzhautbild ebenso gross ist, als wenn die Loupe gar nicht vorhanden wäre.

Wir haben schon früher durch das Experiment nachgewiesen, dass das Netzhautbild, im Falle, als das Object sich im Brennpunkte der Linse befindet, in eine Entfernung von etwa 8″ verlegt wird. Es verhält sich hierbei die scheinbare Vergrösserung zur Grösse des Netzhautbildes wie $8 : g_{,,}$. Bezeichnen wir mit P die Panum'sche Formel, so erhalten wir als scheinbare Vergrösserung durch die Loupe:

$$P \times \frac{g_{,,}}{f_{,} + d} \times \frac{8}{g_{,,}} = P \times \frac{8}{f_{,} + d} = \frac{g_{,,}}{F} \times \frac{8''}{g_{,,}} = \frac{8''}{F}.$$

Vergleichen wir nun die Werthe der Panum'schen Formel bei Loupen von verschiedener Brennweite für eine Objectsdistanz, die der Brennweite gleich ist, und die dazu gehörigen scheinbaren Vergrösserungen, so erhalten wir folgende Tabelle:

Brennweite	Werth von P.	Scheinb. Vergrösserung
2″	1 1/2	4
3″	1 1/3	2 2/3
4″	1 1/4	2
5″	1 1/5	1 3/5

Wir haben früher gesehen, dass die Netzhautbilder der Objecte, welche im Brennpunkte einer Loupe stehen, immer gleich gross sind, mag die Distanz zwischen Glas und Auge so gross wie immer sein.

Es fragt sich nun: Ist auch die scheinbare Vergrösserung bei allen Distanzen zwischen Glas und Auge dieselbe?

Die Antwort hierauf lautet:

Mag die Distanz zwischen Auge und Loupe welche immer sein, so ist, wie das Experiment lehrt, die scheinbare Vergrösserung immer dieselbe, woraus geschlossen werden muss, dass das Scheinobject stets in 8″ vom Auge gesehen wird.

Rückt aber das Object aus dem Brennpunkte der Loupe in die Brennweite, so compliciren sich die Verhältnisse der scheinbaren Vergrösserung sehr wesentlich. Es tritt nämlich ein neuer Factor in die

Berechnung, welcher auf die Grösse des Netzhautbildes von Einfluss ist: die Accommodation.

Wie wir früher gesehen haben, wird für den Fall, als die Distanz zweier optischer Systeme nicht grösser ist als die Summe der zweiten Brennweite des ersten und der ersten Brennweite des zweiten Systemes, das Netzhautbild immer grösser, je näher ein in der Brennweite des ersten Systemes befindliches Object an dieses heranrückt.

Die Erfahrung jedoch lehrt, dass, wenn ein Object innerhalb der Brennweite einer Loupe sich der letzteren nähert, die scheinbare Vergrösserung immer mehr abnimmt.

Die Lösung dieses Widerspruches kann nur darin gefunden werden, dass entweder ein Factor mitwirkt, welcher das durch die Loupe vergrösserte Netzhautbild wieder verkleinert, oder dass das Netzhautbild in eine geringere Entfernung als 8″ verlegt wird, oder endlich, dass beide Ursachen zusammen bei der Verringerung der scheinbaren Vergrösserung mitwirken.

So wie das virtuelle Bild aus der unendlichen in eine endliche Entfernung eintritt, muss die Accommodation ihre Thätigkeit beginnen, um das Bild auf der empfindenden Schichte der Netzhaut festzuhalten.

Durch die Accommodation wird das Auge in ein stärker brechendes System verwandelt und solche geben von Objecten, die sich in gleicher Entfernung befinden, kleinere Bilder, als schwächer brechende.

Wir brauchen nur, um dies zu beweisen, die uns bekannte Formel

$$\beta_{\prime\prime} = - \beta_{\prime} \frac{F_{\prime}}{l_{\prime}}$$

etwas näher zu untersuchen.

Da $l_{\prime} = f_{\prime} - F_{\prime}$, so verwandelt sich die Gleichung in

$$\beta_{\prime\prime} = - \beta_{\prime} \left(\frac{F_{\prime}}{f_{\prime} - F_{\prime}}\right).$$

Es ist klar, dass $\beta_{\prime\prime}$, da $f_{\prime}$ constant ist, um so kleiner wird, je kleiner $F_{\prime}$ ist, da dann der Zähler des Bruches immer kleiner und der Nenner immer grösser wird, oder mit anderen Worten, je kleiner die vordere Brennweite eines optischen Systemes, d. h. je stärker brechend dasselbe wird, desto kleiner wird das Bild eines in bestimmter Entfernung befindlichen Objectes.

Wir wollen nun untersuchen, ob die Verkleinerung des Netzhautbildes, welche durch die Accommodation erzeugt wird, genüge, um die Vergrösserung desselben durch die Loupe zu überbieten und eine Verringerung der scheinbaren Vergrösserung zu bewirken.

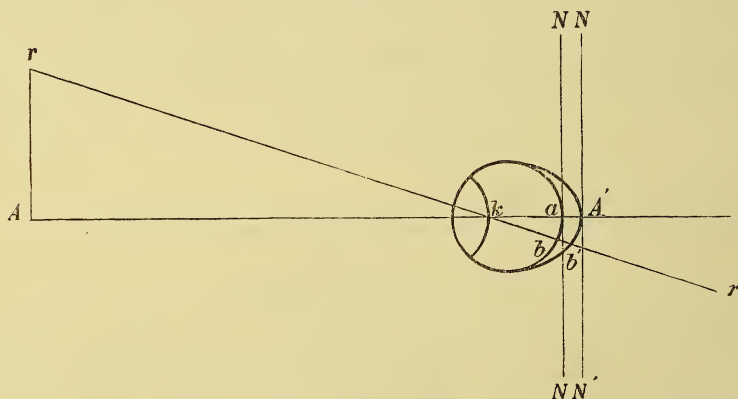
Eine genaue Berechnung der durch die Accommodation hervorgerufenen Verkleinerung des Netzhautbildes zeigt jedoch, dass dasselbe nicht genüge, um die erfahrungsgemäss eintretende Verringerung der scheinbaren Vergrösserung zu erklären, dass jedoch zu dieser Erklärung die durch die Accommodation erzeugte Verkleinerung des Bildes mit herbeigezogen werden müsse. Aus dieser Thatsache folgt schon, dass der zweite, die Verringerung der scheinbaren Vergrösserung bewirkende Factor, die geringere scheinbare Objectsdistanz nämlich, nicht allein auf das geringere Maass von scheinbarer Vergrösserung von Einfluss sei, sondern dass beide Factoren gleichzeitig zusammenwirken.

Um den Einfluss der Accommodation auf die Verkleinerung des Netzhautbildes kennen zu lernen, muss man sich vorstellen, dass das optische System des Auges mit einer Linse combinirt werde, deren Brennweite so gross ist, als die Entfernung des jeweiligen virtuellen, von der Loupe entworfenen Bildes vom Knotenpunkte des Auges. Diese die Accommodation repräsentirende Linse müssen wir in die menschliche Linse selbst verlegen, und aus dieser Lage derselben wenigstens die vordere Brennweite und den Ort des ersten Hauptpunktes des combinirten Systemes berechnen.

Wenn auch diese Berechnung nur grosse Genauigkeit erfordert, aber keine grösseren Schwierigkeiten verursacht, so kann von den Studirenden doch nicht gefordert werden, tiefer in die intimeren Beziehungen der physiologischen Optik einzugehen, und es wird desshalb für unsere Zwecke vortheilhafter sein, unter Zugeständniss eines kleinen Fehlers in der Berechnung auf einem Umwege unser Ziel zu erreichen.

Wir haben schon früher gesehen, dass jedes emmetropische Auge durch die Accommodation in ein solches verwandelt wird, von welchem

Fig. 22.



Strahlen, die von einem bestimmten endlichen Punkte ausgehen, wieder zu einem Punkte auf der Netzhaut vereinigt werden. Dasselbe geschieht von einem myopischen Auge, dessen Netzhaut derart hinter dem Brennpunkte desselben liegt, dass Strahlen, welche von demselben Punkte ausgehen, auf ihr zur Vereinigung kommen, ohne dass die Accommodation in Thätigkeit gesetzt wird.

Stelle in Fig. 22 N N die Lage der Netzhaut des emmetropischen Auges und N,N, die Lage derselben im myopischen Auge dar, ist ferner A A, die Axe beider Augen und r r, der Richtungsstrahl, der von dem äussersten Ende eines auf der Axe als Fusspunkt stehenden Objectes, A r herrührt, schneidet dieser N N in b und N,N, in b,, bezeichnen wir mit a den Durchschnittspunkt der Axe mit N N, so stellt A, b, das Netzhautbild des Objectes im myopischen Auge und a b dasselbe im emmetropischen und accommodirten Auge dar. Diese letztere Annahme schliesst aber eben jenen erwähnten Fehler in sich, indem wegen des Vorrückens der Knotenpunkte im accommodirten Auge das letztere

Netzhautbild etwas grösser werden muss. Dieser Fehler ist jedoch unwesentlich, indem er erst in der dritten Decimalstelle erscheint, so dass wir im Interesse einer einfachen und raschen Berechnung denselben vernachlässigen dürfen.

Stellt $A_, b_,$ das Netzhautbild eines im Fernpunkte eines Auges mit Myopie $^1/_8$ befindlichen Objectes und a b das Netzhautbild eines emmetropischen, für dasselbe Object accommodirten Auges dar, ist ferner k der Durchschnittspunkt von r r, und A $A_,$ der Knotenpunkt des Auges, so verhält sich:

$$a\,b : A_, b_, = k\,a : k\,A_,,$$

k a ist uns bekannt, es ist die hintere Knotenpunktsentfernung, welche im schematischen Auge etwa 15 mm beträgt. $A_, b_,$ setzen wir $= 1$, weil wir doch nur die Verkleinerungszahl, die die Accommodation hervorruft, kennen lernen wollen. a b suchen wir und k $A_,$ wollen wir mit $\gamma_{,,}$ bezeichnen.

Setzen wir in die Gleichung, durch welche die durch die Loupe bewirkte Vergrösserung des Netzhautbildes ausgedrückt wird, die Panum'sche Formel = P, so können wir die Grösse des Netzhautbildes in dem für das virtuelle Bild in 8″ accommodirten Auge bezeichnen mit

$$P \times \frac{\gamma_{,,}}{f_, + d} \times \frac{15}{\gamma_{,,}} = \frac{23}{16} \times \frac{15}{69 \cdot 3} = 0 \cdot 47$$

($69 \cdot 3$ mm $= 2^5/_9{}'' = f_, + d$). In diesem Falle musste die Entfernung des virtuellen Bildes von der Loupe mit 7″ und daher $f_,$ mit $1^5/_9$ angenommen werden, weil nur dann bei der Distanz $d = 1''$ das virtuelle Bild 8″ vom Knotenpunkt entfernt ist.

Berechnen wir, wie gross die scheinbare Vergrösserung wird, wenn man dieses Netzhautbildchen an den Ort des virtuellen Bildes, für welchen das Auge accommodirt ist, also nach 8″ verlegt, so erhalten wir eine Zahl, die grösser als 4 ist, wiewohl wir das Netzhautbildchen bei der Accommodation etwas kleiner angenommen haben, als es der Wirklichkeit entspricht, wodurch die Verkleinerungszahl an Grösse zugenommen hat.

Erfahrungsgemäss muss aber die scheinbare Vergrösserung geringer sein, als wenn das Object sich im Brennpunkte der Loupe befände, also geringer als eine vierfache.

Hieraus ist nun mit Bestimmtheit zu ersehen, dass das Scheinobject bei der Lage des virtuellen Bildes in 8″ vor dem Knotenpunkte, also bei der Lage des Objectes $^{14}/_9{}''$ vor dem Centrum einer zweizölligen Loupe nicht in 8″, sondern in eine geringe Entfernung verlegt werden muss. Aber in welche?

Nähert man ein Object innerhalb der Brennweite mehr und mehr der Loupe, so sinkt die scheinbare Vergrösserung beständig, bis das Object an der Vorderfläche des Glases angelangt ist.

An diesem Punkte ist die scheinbare Vergrösserung gleich null, oder was dasselbe ist, das Object erscheint ebenso gross, als wenn es ohne Dazwischenkunft der Loupe in derselben Entfernung angesehen worden wäre.

Da die scheinbare Vergrösserung im geraden Verhältnisse zur Entfernung steht, in welche projicirt wird, und diese Vergrösserung

mit der Annäherung des Objectes an die Loupe verhältnissmässig geringer wird, so dürfen wir das Verhältniss für die Annäherung gleichsetzen den Entfernungen, in welche das Bild projicirt wird.

Steht das Object, wie in dem oft gewählten Beispiele, im Brennpunkte einer zweizölligen Loupe, beträgt die Distanz zwischen Loupe und Auge einen Zoll, dann wird das Scheinobject nach 8″ vom Knotenpunkt, also 7″ von der Loupe entworfen.

Während also das Object allmälig von 2″, dem Brennpunkte der Loupe, bis an ihre Vorderfläche heranrückt, demnach einen Weg von 2″ zurücklegt, schreitet das Scheinobject von 8″ bis an die Vorderfläche der Loupe vor, macht also einen Weg von der Länge von 7″.

Die Loupe vergrössert demnach nicht nur das Object und die Entfernung, in welcher dasselbe liegt, sondern auch den Weg, den es beim Vor- und Zurückrücken zurücklegt.

Fragen wir nun, woher es komme, dass das Netzhautbild bei Objecten innerhalb der Brennweite der Loupe auf eine geringere Entfernung projicirt werde, als der Entfernung des virtuellen Bildes entspricht, für welches das Auge doch accommodirt wird, so können wir durch die folgende Ueberlegung damit ins Klare kommen.

Beim gewöhnlichen Sehen mit unbewaffnetem Auge verhält sich das Netzhautbild eines betrachteten Objectes zu diesem, wie die Entfernung der Netzhaut vom Knotenpunkte zur Entfernung des Objectes von demselben. Bezeichnen wir die hintere Knotenpunktsentfernung mit $g_{\prime\prime}$ und die vordere mit $g_{\prime}$, so ist $\frac{g_{\prime\prime}}{g_{\prime}}$ das Verhältniss der Grösse des Netzhautbildes zu der des Objectes.

Wird $g_{\prime}$ kleiner, so würde das Netzhautbild in dem bezeichneten Verhältnisse grösser werden, wenn nicht durch die Accommodation nach einem bestimmten Verhältnisse das Bild wieder kleiner würde.

Sehen wir aber durch eine Loupe, so wird das Verhältniss der Grösse des Netzhautbildes zu der des Objectes, wie wir früher gesehen haben, durch die Formel:

$$\frac{1}{1 - \frac{f_{\prime} d}{F(f_{\prime} + d)}} \times \frac{g_{\prime\prime}}{f_{\prime} + d}$$

ausgedrückt. Führen wir die Multiplication aus, so haben wir:

$$\frac{g_{\prime\prime}}{f_{\prime} + d - \frac{f_{\prime} d}{F}}.$$

Setzen wir für $f_{\prime} + d$ die Entfernung des Objectes vom Knotenpunkt des Auges, wie früher $= g_{\prime}$, so verwandelt sich dieser Ausdruck in:

$$\frac{g_{\prime\prime}}{g_{\prime} - \frac{f_{\prime} d}{F}}.$$

Da dieser Nenner kleiner als $g_{\prime}$ ist, so wird der Werth des Bruches grösser als die Verhältnisszahl der Grösse des Netzhautbildes bei unbewaffnetem Auge und bei demselben Accommodationsgrade.

Da nun das Wachsen der Vergrösserung des Netzhautbildes ein der gewöhnlichen Erfahrung widersprechendes ist, so wird dieser Widerspruch durch den psychischen Schlussact des Sehens derart gelöst, dass die Vorstellung entsteht, als wäre der Weg, den das Object in der Richtung gegen das Auge genommen, ein längerer, als der Wirklichkeit entspricht, und dass demnach das Object näher liege als der Punkt, für welchen die Accommodation eingerichtet ist.

Nach dem Vorangehenden erfahren wir die Entfernung, in welche projicirt wird, wenn ein Object $1^5/_9$ vor dem Centrum einer zweizölligen Linse gelegen ist und bei Annahme einer Distanz von einem Zoll zwischen Loupe und Auge durch die Proportion:

$$2 : {}^4/_9 = 7 : x.$$

$^4/_9''$ ist nämlich die Differenz zwischen $2''$ und $1^5/_9''$ und bedeutet die Länge des Weges, den das Object machen muss, damit das virtuelle Bild aus der unendlichen Entfernung bis auf $8''$ vom Auge hereinrückt.

Aus dieser Proportion wird $x = 1^5/_9$, was nichts anderes bedeutet, als dass das Scheinobject um $1^5/_9''$ näher als $8''$ projicirt wird, während das Object einen Weg von $^4/_9''$ zurücklegt.

Hieraus ergibt sich, dass in dem Falle, als das virtuelle Bild in $8''$ vom Auge sich befindet, das Scheinobject nach $6^4/_9''$ projicirt wird.

Wollen wir hieraus endlich die scheinbare Vergrösserung berechnen, so setzen wir wie früher

$$P \times \frac{6^4/_9}{f_, + d}$$

oder die Werthe gesetzt:

$$\frac{23}{16} \times \frac{6^4/_9}{\frac{23}{9}} = \frac{9 \times 6^4/_9}{16} = 58 : 16 = 3{\cdot}62.$$

Die scheinbare Vergrösserung also, die ein Beobachter wahrnimmt, welcher für die virtuellen Bilder der innerhalb der Brennweite einer Loupe befindlichen Objecte accommodiren muss, wird gefunden, indem das Verhältniss der Brennweite zu dem Wege, den das Object zurücklegen muss, gleichgesetzt wird dem Verhältnisse von $8'' - d$ zur scheinbaren Objectsentfernung, in welcher das Bild wahrgenommen wird. Diese so gefundene Entfernung, getheilt durch die Distanz des Objectes vom Knotenpunkte des Auges, und multiplicirt mit der Panum-schen Zahl, gibt schliesslich die gesuchte scheinbare Vergrösserung.

Aus den voranstehenden Erörterungen ergibt sich, dass weder bei der Lage des Objectes im Brennpunkte, noch bei einer solchen innerhalb der Brennweite das Scheinobject an der Stelle des virtuellen Bildes erscheinen kann, und dass die scheinbare Vergrösserung weder durch die alte optische Formel, noch durch die Panum'sche Formel für sich allein, noch unter der Voraussetzung gefunden werden kann, dass wir das Object dort sehen, wo es sich wirklich befindet.

Die angeführten Verhältnisse der scheinbaren Vergrösserung der Loupe beziehen sich jedoch nur auf emmetropische und hypermetropische Augen. Bei schwach myopischen Augen, welche parallele Strahlen auf

der Netzhaut nicht zur Vereinigung bringen können, dürfen wir bei Berechnung der scheinbaren Vergrösserung nicht jene Werthe einsetzen, welche sich auf die Brennweite als Objectsdistanz beziehen, sondern müssen die Werthe auf jene Objectsdistanz reduciren, bei welcher der Ort des virtuellen Bildes mit dem Fernpunkte des Auges zusammenfällt.

Handelt es sich z. B. um M $^1/_{20}$ und ist die Brennweite der Loupe 2″, dann ist die Objectsdistanz $1\,^9/_{11}$″ (wobei die Distanz zwischen Knotenpunkt und Loupe nicht berechnet ist) und der Werth von $P = 1\,^{10}/_{21}$.

Die scheinbare Vergrösserung, welche eine solche der Myopie entsprechende Objectsdistanz liefert, lässt sich nach unserer Formel leicht finden, es ist nämlich:

$$P \times \frac{8}{f_, + d} = \frac{31}{21} \times \frac{8}{3\,^1/_{11}} = 4{\cdot}19.$$

Hieraus ist ersichtlich, dass schwach Myopische durch dieselbe Loupe eine relativ stärkere Vergrösserung erzielen können als Emmetrope, weil sie erfahrungsgemäss das durch die Loupe erzeugte Netzhautbild ebenfalls in 8″ verlegen, und dasselbe in diesem Falle grösser ist, als wenn das Object im Brennpunkte der Loupe steht. Alle bisherigen und auch die späteren Berechnungen sind unter der Voraussetzung angestellt, dass die Distanz zwischen Loupe und Knotenpunkt des Auges $d = 1$″.

Verändert sich d, so müssen sich selbstverständlich auch die gewonnenen Resultate verändern, mit Ausnahme des Falles, wo sich das Object im Brennpunkte der Loupe befindet.

Ist aber die Myopie grösser als $^1/_8$, dann lehrt die Beobachtung an dem oben beschriebenen Apparate, dass das Netzhautbild nicht, wie wir früher gesehen haben, in 8″—10″ verlegt wird, sondern in der Entfernung des virtuellen Bildes.

Besitzt z. B. der Beobachter M $^1/_5$, ist die Brennweite der Loupe = 2″, die Distanz beider Systeme 1″, dann muss die Objectsdistanz = $1\,^1/_3$″, $P = 1\,^4/_{10}$″ und die Vergrösserung demnach

$$1\,^4/_{10} \times \frac{5}{2\,^1/_3} = 3 \text{ sein.}$$

Die stärkste scheinbare Vergrösserung also, welche durch eine zweizöllige Loupe bei einem Myopen von $^1/_5$ hervorgerufen werden kann, ist eine dreifache.

Hat das Object eine solche Lage zur Loupe, dass das virtuelle Bild dem Auge des myopischen Beobachters näher liegt als sein Fernpunkt, so dass er bei der Beobachtung zu accommodiren gezwungen ist, so tritt eine Verringerung der scheinbaren Vergrösserung und ein Hereinrücken der Projectionsebene in demselben Sinne ein, wie wir dies früher bei Emmetropen festgestellt haben, und muss die Rechnung für jeden einzelnen Fall in derselben Weise geführt werden.

§ 31. Wir bedienen uns der Loupe zum Zwecke der Beobachtung von krankhaften Vorgängen am Auge in zweierlei Beziehung; einmal, indem wir sie als Vergrösserungsglas benutzen, und dann, indem wir

ihre Eigenschaft, Strahlen in einer kurzen Distanz zu einem Lichtpunkte zu vereinigen, unseren Zwecken dienstbar machen, oder auch zuweilen beide Arten dieser Untersuchungsmethode mit einander verbinden.

Die Loupe als Vergrösserungsglas benutzen wir, um kleine Unregelmässigkeiten in der Conjunctiva oder Cornea genauer zu untersuchen. Das zu untersuchende Object muss gut beleuchtet sein, desshalb muss dafür gesorgt werden, dass das Licht von der Seite einfalle, weil bei der Untersuchung von vorne der Kopf des Beobachters den grössten Theil des Lichtes vom Auge abhält. Hat man kein gutes Tageslicht zur Verfügung, so beleuchtet man das zu untersuchende Object beim Licht einer gut brennenden Lampe mit einer zweiten Loupe nach den Regeln, die weiter unten beschrieben werden sollen. Ist die Cornea klar, so kann auch die Iris und die Pupille mittelst der Loupe untersucht werden.

Es ist vortheilhaft, das beobachtende Auge nahe vor die Loupe zu bringen, weil bei grösserer Entfernung auch die durch die Randtheile der Loupe gehenden Strahlen in die Pupille dringen und theils wegen der sphärischen, theils wegen der chromatischen Aberration Undeutlichkeit und Verzerrung der seitlichen Theile des zu beobachtenden Objectes hervorrufen.

Betrachtet man die Conjunctiva oder die Cornea, so wird, wie wir früher gesehen haben, die grösste scheinbare Vergrösserung erreicht werden, wenn sich das zu untersuchende Object im Brennpunkt der Linse befindet.

Diese Objectsentfernung eignet sich jedoch nur für emmetropische und solche hypermetropische Beobachter, die noch über eine kräftige Accommodation zu verfügen haben, resp. ihre Hypermetropie beim Sehen in die Ferne durch Accommodation vollkommen decken können. Ist aber ein Theil der Hypermetropie absolut geworden, so müssen sie die Loupe etwas weiter von dem beobachteten Auge entfernen und erhalten zwar noch immer ein vergrössertes Bild, aber kein Loupenbild stricto sensu.

Myopische Beobachter müssen selbstverständlich die Loupe dem beobachteten Auge so weit nähern, dass der Ort des virtuellen Bildes des Objectes in den Fernpunkt fällt.

Beobachter, die einen höheren Grad von Myopie besitzen, werden desshalb geringere scheinbare Vergrösserungen mit der Loupe erlangen als Emmetrope, und bei sehr starken Graden von Kurzsichtigkeit wird der Beobachter mit freiem Auge die kleinen, der Untersuchung zu unterwerfenden Details nur wenig kleiner sehen, wie durch die Loupe. Bei der Untersuchung der Iris und der Pupille muss darauf Bedacht genommen werden, dass diese Partien des Auges ohnehin schon in Folge der Brechung, die sie durch die Cornea erleiden, in einer geringen Loupenvergrösserung erscheinen.

Allerdings ist diese, da die hintere Brennweite der Hornhaut 31·692 mm, die Entfernung der Iris von der vorderen Hornhautfläche nur 4 mm beträgt, eine sehr geringe und dem entsprechend die Lage des virtuellen Bildes etwa nur 6 mm hinter der Hornhautfläche.

Dennoch muss dieser Umstand in Rechnung gezogen werden, da nur dann deutlich gesehen werden kann, wenn die Loupe entsprechend der Refraction des Beobachters um 6 mm oder noch mehr der Cornea

genähert werden muss, als wenn letztere der Untersuchung unterzogen wird.

Wird die Loupe als Beleuchtungsmittel benutzt, indem das Licht einer Lampe oder zuweilen auch das Tageslicht als Quelle dient, so wird diese Methode als die Untersuchung mit Focalbeleuchtung oder als Untersuchung bei seitlicher oder schiefer Beleuchtung bezeichnet. Letztere Bezeichnung wurde dieser Methode beigelegt, weil hierbei das Licht nicht senkrecht, sondern von der Seite her auf das Auge geworfen wird und der Beobachter von der entgegengesetzten Seite das Auge betrachtet.

Bei der seitlichen Beleuchtung bedient man sich der Loupen von 2—3″ Brennweite (20—13 Dioptrien). Als Lichtquelle dient hierbei eine gut brennende Gas- oder Petroleumflamme.

Man nähert die Loupe dem Auge soweit, dass der Brennpunkt auf den zu untersuchenden Theil resp. dessen virtuelles Bild auffällt, oder aber man lässt den Querschnitt des convergirenden Lichtkegels auf die betreffende Stelle fallen.

Untersucht man die Oberfläche der Conjunctiva oder Cornea, dann darf die Flamme nicht zu nahe herangerückt werden, weil sonst der Vereinigungspunkt der Strahlen hinter die Cornea fällt, wenn man auch die Loupe soweit vom Auge entfernt, als es die auf den Backenknochen gestützte Hand gestattet.

Zuweilen ist es vortheilhaft, das concentrirte Licht der Loupe soweit seitlich von der Hornhaut auffallen zu lassen, dass diese von hinten her durchleuchtet wird.

Mittelst der Focalbeleuchtung kann man sich davon überzeugen, dass sowohl die Vorderfläche der Cornea, als auch die vordere Fläche der Linse einen zarten, grauen Reflex geben, welcher im vorgerückten Alter sogar einen bedeutenden Grad annehmen kann. An der Linse kann sogar, besonders bei künstlicher Erweiterung der Pupille, die Zeichnung der Wirbel derselben in Form von schmalen, schwärzlichen Linien, welche den grauen Reflex durchsetzen, wahrgenommen werden.

Die pathologischen Veränderungen des vorderen Augapfelabschnittes, aber auch die der Linse und bei starker Erweiterung der Pupille auch die im vorderen Theile des Glaskörpers sitzenden Anomalien können bei der schiefen Beleuchtung deutlich wahrgenommen werden.

Nur muss im letzten Falle bedacht werden, dass das einfallende Licht, durch die Linse gebrochen, auf dem zu betrachtenden Objecte zu einer kleinen leuchtenden Fläche vereinigt wird, von welcher die Strahlen nach dem Gesetze der Reflexion in umgekehrter Ordnung zur Linse derart zurückkehren, dass sie von dieser und von der Cornea wieder gegen die leuchtende Fläche zurückgeleitet werden. Wäre desshalb das zu beleuchtende Object spiegelglatt, so würde alles Licht wieder zur Leuchtquelle zurückkehren und das Object unsichtbar bleiben. Dies ist jedoch glücklicher Weise nicht der Fall; die im vorderen Glaskörper liegenden Objecte bieten an ihrer Oberfläche soviel Unebenheiten dar, dass das auf sie fallende Licht nach allen Seiten diffundirt wird. so dass ein Theil dieser zerstreuten Strahlen, durch die Augenmedien gebrochen, in das Auge des Beobachters dringen kann. Absorbirt ein solcher Körper wenig Licht, ist er weiss, dann wird er dem Beobachter

in genügender Klarheit erscheinen. Ist er aber dunkel, dann muss die Lichtquelle sehr stark sein, damit etwas von demselben bemerkt werden könne.

Benutzt man das diffuse Tageslicht als Lichtquelle, so beleuchtet man gewöhnlich von vorn her und lässt einen breiteren Durchschnitt des Lichtkegels aufs Auge fallen, weil man sich derselben nur bedient, um die Oberfläche des Auges im Ganzen besser zu erhellen, während man sich bei Untersuchung der Details die schiefe Beleuchtung bei Lampenlicht mit mehr Vortheil nutzbar macht. Endlich wird Loupenuntersuchung und seitliche Beleuchtung derart combinirt, dass von einer Seite her die Beleuchtung, von der entgegengesetzten die dioptrische Untersuchung stattfindet. Durch Nähern und Entfernen zum und vom Auge wird die beste Beleuchtung und stärkste Vergrösserung des Objectes empirisch gefunden.

---

4. Capitel.

Untersuchung mit dem Augenspiegel.

§ 32. Seit den ältesten Zeiten ist es bekannt, dass die Augen verschiedener Raubthiere im Dunkeln leuchten, und seit etwa einem Jahrhundert weiss man, dass es Menschen gibt, deren Augen bei Tage röthlich schimmern, ähnlich wie die Augen der weissen Kaninchen.

Ueber dieses Leuchten der Augen waren bis in unser Jahrhundert hinein die sonderbarsten Fabeln erdichtet, verbreitet und geglaubt worden, und diesen Irrthümern entsprechend wurden die abenteuerlichsten Gründe als Ursache desselben erfunden und angegeben.

So wurde behauptet, dass die Augen der Thiere dann leuchten, wenn sie sich in besonderem Affect befänden, auf Beute lauerten u. s. w.

Von albinotischen Menschen, deren Augen wie die der weissen Kaninchen bei Tageslicht in röthlichem Schimmer leuchten, wurde behauptet, dass feurige Kugeln und zolllange Strahlen im Finstern aus ihren Augen hervorbrechen, dass sie imstande sind, bei diesem Lichte feinste Schrift im Finstern zu lesen u. dgl. m.

Diese Fabeln erhielten sich bis in unser Jahrhundert hinein, bis Prévost darlegte, dass das Leuchten der Thieraugen auf einem Reflex aus dem Inneren derselben beruhe, eine Anschauung, welche nach der Entdeckung des sogenannten Tapetums in der Chorioidea der Säugethiere und mancher Vögel und Fische immer mehr an Verbreitung und Sicherheit gewann, weil aus der Färbung des Tapets die Farbe des aus den Thieraugen dringenden Lichtes sich am natürlichsten erklärte. Sowie diese Theorie an Ansehen gewann, wurden auch die Beobachtungen correcter angestellt, welche ergaben, dass die Augen der Thiere weder in absoluter Finsterniss, noch in sehr grosser Dunkelheit leuchten, dass das Leuchten nur wahrgenommen werde, wenn man ungefähr in der Richtung des einfallenden Lichtes das Auge betrachtet, endlich dass auch die Augen todter Katzen und diese sogar intensiver als die der lebenden zu leuchten vermögen.

Mit diesen Erkenntnissen müssen alle die abenteuerlichen Hypothesen, die über das Phänomen des Augenleuchtens aufgestellt worden waren, als da sind: Phosphorescenz einer im Auge erzeugten Materie oder durch Insolation, Sichtbarwerden electrischer Nervenströme u. s. w. fallen gelassen werden.

Trotz der besseren Einsicht, welche in den ersten Decennien unseres Jahrhunderts in die Natur des Leuchtens der Thieraugen gekommen war, und trotzdem man das Leuchten der albinotischen Menschenaugen durch den Reflex aus dem pigmentlosen Augengrunde ganz richtig erklärte, war man bis in die Mitte unseres Jahrhunderts hinein über die Ursache der Schwärze der menschlichen Pupille vollständig im Unklaren.

Die Einen meinten, dass zu wenig Licht in die enge Pupille dringe, um den Reflex, den dasselbe im Auge erleide, wahrzunehmen. Die Anderen gaben an, dass das schwarze Pigment der Aderhaut alles Licht, welches in das Auge eindringe, absorbire. Ein Dritter behauptete sogar, dass wir aus dem Grunde nichts von dem Inneren eines menschlichen Auges sehen können, weil sich die Netzhaut im Brennpunkte des optischen Systemes befindet.

Erst als es Cumming und Bruecke gelang, jedes menschliche Auge unter gewissen Voraussetzungen zum Leuchten zu bringen, begründete Helmholtz im Jahre 1851 seine Theorie vom Augenleuchten und erfand gleichzeitig einen Apparat, den er Augenspiegel nannte und der dazu bestimmt war, nicht nur das menschliche Auge leuchten, sondern auch die im Grunde des Auges liegenden Objecte scharf und deutlich wahrnehmbar zu machen. Fallen Strahlen, die von einem Lichtpunkte ausgehen, in die Pupille, dann werden sie, wenn das Auge für diesen Lichtpunkt eingestellt ist, auf der Netzhaut wieder zu einem Punkte vereinigt.

Von diesem letzteren Punkte reflectiren sie und werden durch das dioptrische System des Auges wieder so gebrochen, dass sie zu dem Lichtpunkte zurückkehren. Der Lichtpunkt und der Vereinigungspunkt auf der Netzhaut sind demnach conjugirte Vereinigungspunkte in Bezug auf das dioptrische System des Auges.

Ist das beobachtete Auge für die Pupille des Beobachters accommodirt, so wird ein Bild der dunkeln Pupille des letzteren auf der Netzhaut entworfen werden und, von dieser reflectirt, wieder als dunkle Scheibe in das Auge des Beobachters zurückfallen.

Es wäre nur dann möglich in unserem Falle das aus dem Auge zurückkehrende Licht eines leuchtenden Punktes wahrzunehmen, wenn wir unser Auge in die Richtung, die dieses Licht einnimmt, bringen könnten. Wir würden aber, wenn wir dies versuchen wollten, das einfallende Licht vom Auge abschneiden. Aber auch dann, wenn das beobachtete Auge für die Lichtquelle nicht accommodirt ist, so dass sich ein Zerstreuungskreis von derselben auf der Netzhaut bildet, werden wir nichts von dem aus dieser zurückkehrenden Lichte wahrnehmen können, weil in jedem Falle, ob das beobachtete Auge für unsere Pupille accommodirt ist oder nicht, das scharfe oder zerstreute Bild der letzteren auf einen anderen Ort der Netzhaut fällt, als das Bild der Lichtquelle.

Erst dann, wenn wir es so einrichten, dass ein scharfes Bild des Lichtpunktes in den Zerstreuungskreis des von unserer Pupille ent-

worfenen Bildes oder ein scharfes Bild unserer Pupille in den Zerstreuungskreis der Lichtquelle hineinfällt, oder endlich wenn beiderlei Zerstreuungskreise einander decken, dann werden wir das aus dem Auge reflectirende Licht wahrnehmen können.

Die Ursache also, warum wir unter gewöhnlichen Umständen die Pupille anderer Menschen oder auch unsere eigene (im Spiegel) schwarz sehen, beruht auf rein optischen Gesetzen.

Mit dieser Behauptung steht die Thatsache scheinbar im Widerspruche, dass die albinotischen Augen, auch bei gewöhnlichem Tageslichte und von allen Seiten besehen, einen röthlichen Schein aus der Pupille zurückwerfen. Dieses aus solchen Augen zurückgeworfene Licht ist nicht dasjenige, welches von den beleuchteten Objecten in die Pupille eindringt und von den Medien des Auges normal gebrochen wird, sondern jenes Licht, welches durch die pigmentlosen Augenhäute in das Innere des Auges geräth und, von diesem in verschiedenster Richtung zurückgeworfen, aus der Pupille herausdringt.

Dass diese Erklärung richtig sei, hat Donders durch ein einfaches Experiment bewiesen, indem er einen festen Schirm, der kein Licht durchliess, mit einem centralen Loche von der Grösse der Pupille versah und diesen mit der Oeffnung vor die Pupille knapp vors Auge eines Albinos setzte. Nun erschien die Pupille dieses albinotischen Auges ebenso schwarz, wie das eines jeden anderen, und zeigte keine Spur von Schimmer.

Helmholtz hat die optischen Gesetze, welche dem Augenleuchten zu Grunde liegen, in einer Reihe von Sätzen ausgesprochen, deren wichtigste hier folgen mögen:

Satz 1. „Wenn zwei Lichtstrahlen in entgegengesetzter Richtung durch beliebig viele, einfach brechende Mittel gehen und in einem dieser Medien in eine gerade Linie zusammenfallen, so fallen sie in allen mit einander zusammen."

Es folgt aus diesem Satze, dass ein Strahl, welcher von der Netzhaut zur Linse zieht und mit einem anderen zusammenfällt, der von einem leuchtenden Punkte zum Auge und zur Netzhaut geht, auch ausserhalb des Auges mit letzterem zusammenfällt, d. i. mit dem leuchtenden Punkte sich vereinigt.

Eine weitere Folge hievon ist, dass ein Strahlenkegel, welcher, von einem leuchtenden Punkt ausgehend, auf der Netzhaut zu einem leuchtenden Punkte vereinigt, nach der Reflexion in umgekehrter Anordnung seiner Strahlen zum leuchtenden Punkte wieder zurückkehrt.

Satz 2. „Wenn die Pupille des beobachteten Auges leuchtend erscheinen soll, so muss sich auf seiner Netzhaut das Bild der Lichtquelle ganz oder theilweise mit dem Bilde der Pupille des Beobachters decken."

Satz 4. „Wenn ein Beobachter durch ein centrirtes System brechender und spiegelnder Kugelflächen ein scharfes Bild eines leuchtenden Gegenstandes erblickt, und wir den Verlust von Licht an den brechenden und spiegelnden Flächen vernachlässigen können, so erscheint jede Stelle des Bildes dem Beobachter ebenso hell, wie ihm die entsprechende Stelle des Gegenstandes, ohne optische Instrumente gesehen, erscheinen würde, so oft die ganze Pupille des Beobachters von den Strahlen getroffen wird, die von einem einzelnen Punkte jener

Stelle ausgehen. Ist diese letztere Bedingung nicht erfüllt, so verhält sich die Helligkeit des optischen Bildes zur Helligkeit des frei gesehenen Gegenstandes wie der von Strahlen eines leuchtenden Punktes getroffene Flächenraum der Pupille des Beobachters zur ganzen Pupille.“

Hieraus folgt, da unsere Pupille beim Augenspiegel von dem aus dem beobachteten Auge zurückkehrenden Lichte in ihrem ganzen Querschnitt getroffen wird, dass uns im Falle, als wir uns foliirter Spiegel bedienen, bei welchen der Verlust an Licht bei Brechung und Reflexion als ein sehr geringer vernachlässigt werden kann, der Augengrund ebenso hell erscheint, als würde ersterer direct ohne Intervention der Medien des Auges von derselben Lichtquelle und in derselben Entfernung beleuchtet werden.

Helmholtz stellt ferner zwei Formeln zur Berechnung der Helligkeit einer Stelle der Netzhaut bei der Beleuchtung des Auges mit einem Augenspiegel auf und zwar für den Fall, als:

a) der Verlust, den die einzelnen Strahlen an den brechenden und reflectirenden Flächen erleiden, vernachlässigt werden kann. Ist nämlich p der Durchschnitt eines Strahlenbündels, welches von der Netzhaut des beobachteten Auges zum leuchtenden Körper zurückkehrt, mit der Pupille des ersteren und P die Fläche der Pupille dieses Auges, ist ferner H die normale Helligkeit, d. i. jene, welche der Netzhaut zukommen würde, wenn das Auge frei nach dem beleuchteten Körper blicken würde, dann ist die Helligkeit der Netzhaut verringert und zwar um jenen Theil, welcher zur Lichtquelle zurückkehrt, also

$$\frac{p}{P} H.$$

Bezeichnen wir mit q den Querschnitt des Strahlenbündels, welcher von derselben Netzhautstelle herrührt, mit der Pupille des Beobachters und mit Q die Fläche dieser letzteren, so erscheint dem Beobachter die betreffende Netzhautstelle unter der Helligkeit:

$$\frac{p \times q}{P \times Q} H.$$

b) Wenn die Strahlen durch Spiegelung oder Brechung einen merklichen Verlust erleiden, das ist bei jenen Augenspiegeln der Fall, bei welchen der Reflector aus einer oder mehreren plan-parallelen, nicht foliirten Glasplatten besteht.

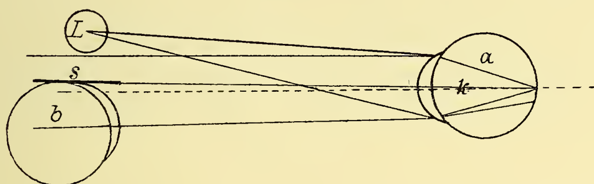
Wenn wir die Helligkeit der Lichtquelle gleich I bezeichnen, so kommt, weil ein Theil der Strahlen bei der Spiegelung verloren geht, nur ein Theil des Lichtes, α, am Augengrunde an, und da bei der Rückkehr des Lichtes zum Spiegel ein Theil der Strahlen zur Lichtquelle zurückkehrt, so wird nur ein Theil von ihnen, β, in das Auge des Beobachters dringen. Es ist desshalb nothwendig, in diesem Falle den obigen Ausdruck noch mit α und β zu multipliciren, also

$$\frac{\alpha \cdot \beta \cdot p \cdot q}{P\,Q} H$$

ist die Helligkeit, mit welcher der Augengrund bei nicht foliirten Spiegeln wahrgenommen wird.

§ 33. Die Cumming-Bruecke'sche Beleuchtungsmethode beruht darauf, dass das beobachtende Auge ungefähr in der Richtung des einfallenden Lichtes in das beobachtete Auge sieht. Hierbei ist es nothwendig, dass der Beobachter sich durch einen Schirm gegen das directe Licht der Leuchtquelle abblendet. Das beobachtete Auge darf jedoch nicht für die Leuchtquelle accommodirt sein, da sonst die Beobachtung sehr schwierig wird. Ist dies nicht der Fall, so kann das beobachtende Auge in das aus dem anderen kommende parallele oder divergente Strahlenbündel eintauchen und den Reflex vom Augengrunde wahrnehmen.

Fig. 23.



In Fig. 23 sei a das Beobachtete, b das Auge des Beobachters, L die Leuchtquelle und s der Schirm. Wie aus der Figur zu ersehen, treten von dem am Augengrunde erzeugten Zerstreuungskreise Strahlenkegel aus, welche, da dieses Auge emmetropisch ist, parallel aus dem Auge heraustreten und theilweise in das Auge des Beobachters fallen. Ist das beobachtete Auge hypermetropisch oder höhergradig myopisch,

Fig. 24.

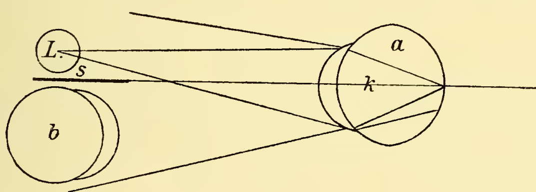
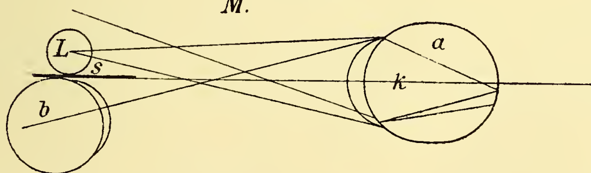


Fig. 25.

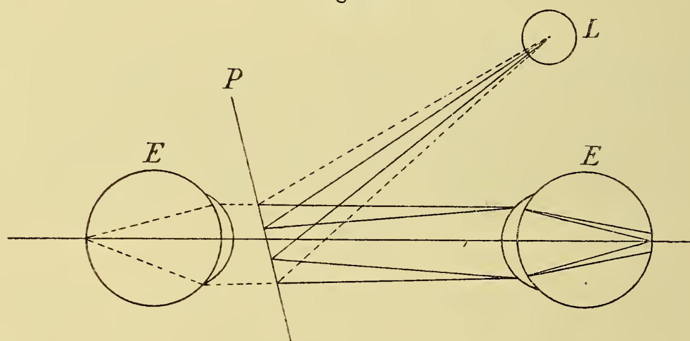


dann treten die Strahlen divergent in das Auge des Beobachters ein und zwar treten sie im ersten Falle schon divergent aus dem beobachteten Auge heraus, während sie im zweiten Falle dieses Auge convergent verlassen, um im Fernpunkte desselben zu einem Punkte vereinigt zu werden, sich in diesem zu überkreuzen und divergent weiter zu gehen. Siehe Fig. 24 bei H und Fig. 25 bei M.

Es ist von selbst und aus den Figuren klar, dass das Erleuchten des Augengrundes nach dieser Methode in den beiden letzten Fällen viel leichter gelingt als im ersteren. Hiebei ist jedoch angenommen, dass die betreffenden Augen accommodationslos sind. Accommodirt jedoch das emmetropische oder hypermetropische hierbei, so wird die Beobachtung sehr erschwert oder unmöglich, und zwar nicht nur wegen der Convergenz der austretenden Strahlen, sondern auch wegen der gleichzeitigen Verengerung der Pupille.

Die Helmholtz'sche Beleuchtungsmethode beruht darauf, dass das Licht der Leuchtquelle, L, auf ein System von plan-parallelen Glasplatten, P, fällt, das derartig gestellt ist, dass das von demselben reflectirende Licht in die Pupille des beobachteten Auges eintritt. Ist das Auge für die Lichtquelle, die es im Spiegel wahrnimmt, nicht accommodirt, so entsteht auf der Netzhaut desselben ein Zerstreuungskreis, von dessen einzelnen Punkten Strahlenkegel reflectiren, welche nach ihrem Austritte aus dem Auge, an dem Spiegel angelangt, zum

Fig. 26.



Theil in der Richtung der Lichtquelle zurückgeworfen werden, zum Theil durch ersteren hindurchgehen. Befindet sich hinter dem Spiegel das beobachtende Auge, dann wird dieses unter allen Umständen die Pupille des Beobachteten erleuchtet sehen. Bei dieser Anordnung scheint das Licht, welches von dem Spiegel reflectirt wird, aus der Pupille des Beobachters herzukommen, und es ist desshalb selbstverständlich, dass das von seiner Pupille ausgehende Licht aus der beobachteten Pupille in die eigene wieder zurückstrahlt.

Eine dritte, beim Augenspiegel nicht in Verwendung kommende Methode, das Auge zum Leuchten zu bringen, rührt von Czermak her.

Concentrirt man auf der Sclera eines Auges mittelst einer Loupe von kurzer Brennweite das Licht einer hellbrennenden Lampe und schützt man sein Auge vor dieser Lichtquelle, so sieht man das Auge leuchten. Dieses Leuchten hat seinen Grund darin, dass die beleuchtete Stelle der Sclera als Lichtquelle wirkt und nach allen Seiten hin den Augengrund beleuchtet. Ein Theil dieses Lichtes wird in der Richtung der Pupille reflectirt und in derselben wahrgenommen.

§ 34. Es entsteht nun die Frage: Unter welchen Bedingungen können wir die Details am Augengrunde wahrnehmen? Die Antwort hierauf lautet: Wir nehmen die Details des Augengrundes nur dann in

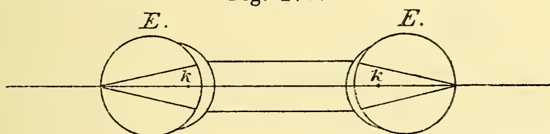
einem scharfen Bilde wahr, wenn die aus der Pupille des beobachteten Auges kommenden, in unsere eigene Pupille eintretenden Strahlen eine derartige Richtung haben, dass sie auf unserer Netzhaut zur Vereinigung kommen können, oder dann, wenn sich mit oder ohne Zuhilfenahme einer Convexlinse von kurzer Brennweite ein reelles Bild des Augengrundes formirt, welches wir direct ansehen können. Der erstere Fall tritt ein bei der Untersuchung im aufrechten virtuellen Bilde, der letztere bei der Untersuchung im umgekehrten reellen Bilde.

Aus der Einleitung (pag. 6) wissen wir, dass, im Falle ein Object im Brennpunkte oder innerhalb der Brennweite einer Loupe sich befindet, das Bild ein aufrechtes virtuelles, scheinbar in unendlicher oder endlicher Entfernung liegendes ist. Befindet sich der Augengrund in der hinteren Brennebene oder innerhalb der hinteren Brennweite, und nähern wir unseren Reflector dem zu beobachtenden Auge auf die Entfernung von 1 bis 2″, so können wir, im Falle unser Auge emmetropisch ist, den Augengrund des anderen ohne weitere Hilfsmittel sehen.

Aber auch in jenen Fällen, wo der Beobachter ametropisch ist, oder das beobachtete Auge eine myopische Refraction hat, kann der Augengrund im aufrechten Bilde unter Anwendung von Hilfslinsen zur deutlichen Wahrnehmung gebracht werden. Diese Hilfslinsen sind zuweilen Convex-, gewöhnlich aber Concavlinsen. Die ersteren werden dort angewendet, wo das virtuelle Bild des zu beobachtenden Augengrundes diesseits des accommodativen Nahepunktes des Beobachters zu liegen kommt, die letzteren aber in jenen Fällen, wo jenes virtuelle Bild weiter weg als der Fernpunkt des Beobachters sich befindet.

§ 35. **Untersuchung des Auges im aufrechten virtuellen Bilde.** Da sowohl das beobachtete, als auch das beobachtende Auge entweder emmetropisch, hypermetropisch oder myopisch sein kann, so ergeben sich neun Fälle, für welche die Bedingungen der Wahrnehmbarkeit des Augengrundes festzustellen sind.

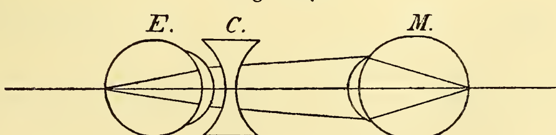
Fig. 27α.



1. Ist der Beobachter emmetropisch und

a) das beobachtete Auge ebenfalls emmetropisch, so treffen (Fig. 27α) die aus dem letzteren parallel austretenden Strahlen in die Pupille des ersteren und werden auf der Netzhaut desselben zur Vereinigung kommen.

Fig. 27β.

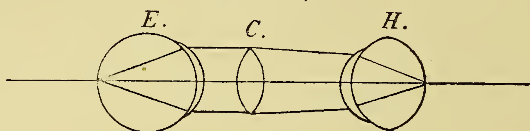


b) Ist das beobachtete Auge myopisch, so dass die aus demselben austretenden Strahlen nach einem Punkte vor demselben convergiren,

dann müssen diese erst durch ein Concavglas (Fig. 27 β) parallel gemacht werden, damit sie auf der Netzhaut des Beobachters vereinigt werden.

Ist aber c) das beobachtete Auge hypermetropisch, so dass die Strahlen (Fig. 27 γ) aus demselben divergent hervortreten, dann müssen

Fig. 27 γ.

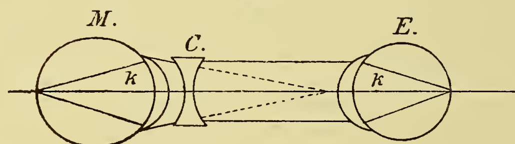


sie durch ein Convexglas parallel gemacht werden, damit sie auf der Netzhaut des Beobachters zur Vereinigung kommen.

2. Ist der Beobachter myopisch und

a) das beobachtete Auge emmetropisch, so müssen die parallelen Strahlen (Fig. 27 δ) durch ein Concavglas divergent gemacht werden, als

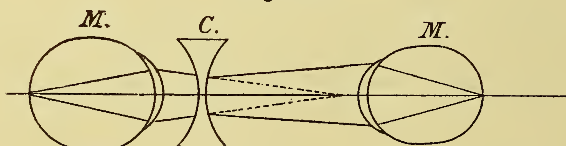
Fig. 27 δ.



kämen sie vom Fernpunkt des Beobachters her, um in der Netzhaut dieses letzteren ihre Vereinigung zu finden; ist aber

b) das beobachtete Auge myopisch, so müssen die aus solchen Augen austretenden convergenten Strahlen durch ein noch stärkeres Concavglas als im letzteren Falle divergent gemacht werden, damit der Beobachter deutlich sehe (Fig. 27 δ').

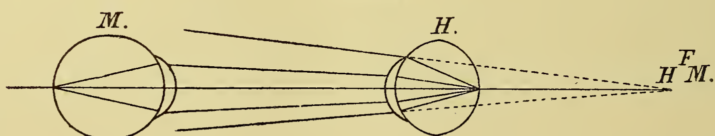
Fig. 27 δ'.



c) Ist aber das beobachtete Auge hypermetropisch, dann sind wieder drei Fälle möglich:

α) Der Fernpunkt des hypermetropischen Auges fällt mit dem Fernpunkt des myopischen Beobachters zusammen (Fig. 27 ε).

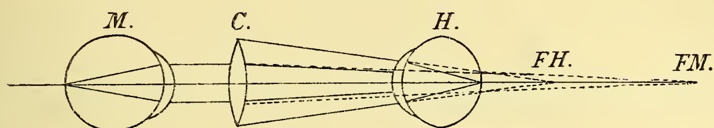
Fig. 27 ε.



β) Die Hypermetropie des beobachteten Auges ist stärker als die Myopie des Beobachters, d. i. der Fernpunkt des ersteren Auges liegt

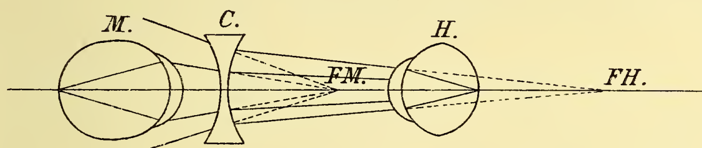
innerhalb des Fernpunkts-Abstandes des zweiten; dann ist ein Convexglas erforderlich (Fig 27 ζ).

Fig. 27 ζ.



γ) Die Hypermetropie des beobachteten Auges ist geringer als die Myopie des Beobachters, dann liegt der Fernpunkt des ersteren ausserhalb des Fernpunktes des Beobachters und es ist zur deutlichen Wahrnehmung ein Concavglas erforderlich (Fig. 27 η).

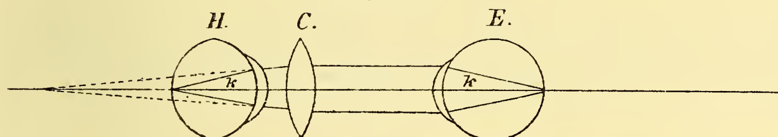
Fig. 27 η.



3. Ist der Beobachter endlich hypermetropisch und

a) das beobachtete Auge emmetropisch, dann müssen die aus letzterem zurückkehrenden parallelen Strahlen durch ein Convexglas derart convergent gemacht werden, dass sie sich auf der Netzhaut des Beobachters zu einem Punkte vereinigen (Fig. 27 ϑ).

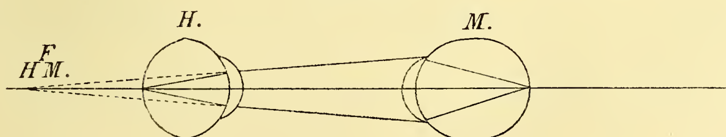
Fig. 27 ϑ.



b) Ist das beobachtete Auge myopisch, so können wieder 3 Fälle eintreten:

α) Der Fernpunkt des myopischen beobachteten Auges fällt mit dem Fernpunkt des hypermetropischen Beobachters zusammen; in diesem Falle ist keine Correctionslinse nothwendig (Fig. 27 ι).

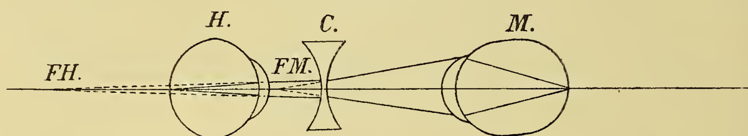
Fig. 27 ι.



β) Die Myopie des beobachteten Auges ist stärker als die Hypermetropie des Beobachters, d. i. der Fernpunkt des myopischen Auges liegt dem hypermetropischen Auge näher als sein eigener negativer Fernpunkt. In diesem Falle muss die Convergenz der Strahlen durch

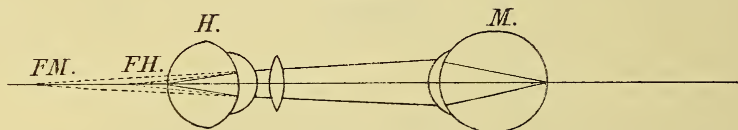
ein Concavglas verringert werden, so dass die Strahlen wieder nach dem Fernpunkte des hypermetropischen Auges hinziehen (Fig. 27 κ).

Fig. 27 κ.



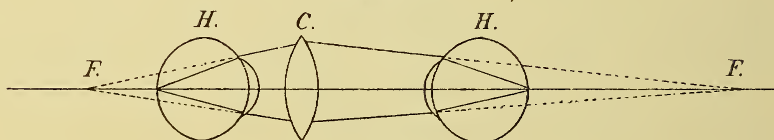
γ) Die Myopie des beobachteten Auges ist geringer als die Hypermetropie des Beobachters. Der Fernpunkt des myopischen Auges liegt hinter dem negativen Fernpunkte des hypermetropischen. In diesem Falle müssen durch ein Convexglas die Strahlen derart stärker convergent gemacht werden, dass sie beim Eintritt in das Auge des Beobachters nach dem Fernpunkte hinziehen (Fig. 27 λ).

Fig. 27 λ.



c) Ist das beobachtete Auge auch hypermetropisch, dann bedarf der Beobachter eines stärkeren Convexglases als im Falle a (siehe Fig. 27 μ).

Fig. 27 μ.



In allen den beobachteten Fällen haben wir vorausgesetzt, dass sowohl das beobachtete als auch das beobachtende Auge vollkommen accommodationslos, also für seinen Fernpunkt eingestellt ist. Für das beobachtete Auge ist dies in der That fast immer der Fall. Wir werden später erfahren, dass diese Eigenschaft des beobachteten Auges, unter der Augenspiegelbeleuchtung seine Accommodation vollkommen zu entspannen, es ermöglicht, die Refraction desselben mittelst des Ophthalmoskops zu bestimmen. Der Beobachter dagegen verwendet seine Accommodation bei der Augenspiegeluntersuchung im aufrechten Bilde in zweierlei Art, und zwar einmal in zweckentsprechender, das anderemal in zweckwidriger Weise.

In allen jenen Fällen, in welchen wir die Nothwendigkeit der Verwendung eines Convexglases als Hilfslinse kennen gelernt haben, kann dieses Correctionsglas durch die Accommodation ersetzt werden und wird auch in den meisten Fällen durch dieselbe ersetzt. Dieses Ersetzen des Correctionsglases durch die Accommodation stellt sich als eine zweckmässige Verwendung dieser letzteren dar, indem durch dieselbe das Deutlichwerden des Augengrundes erzielt wird.

Anders ist es mit einer anderen Art der Verwendung der Accommodation beim Augenspiegel, indem emmetropische, hypermetropische und schwach myopische Personen eine bestimmte Accommodationsquote in Thätigkeit setzen, wenn sie das Bestreben haben, mit dem Ophthalmoskop etwas deutlich wahrzunehmen.

Die Vorstellung, dass es sich bei Besichtigung des Augengrundes um einen nahe gelegenen Gegenstand handle, bringt eine Accommodationsinnervation von $\frac{1}{13} - \frac{1}{10}$ A (3—4 D) hervor, so dass der Emmetrope z. B., der zu augenspiegeln versucht, sich verhält wie ein Kurzsichtiger von 3—4 Dioptrien.

Diese zweckwidrige Accommodationsinnervation verliert sich auch nach langer Uebung im Augenspiegeln nur theilweise, und die geübtesten emmetropischen oder hypermetropischen Beobachter sind nicht imstande, ihre Accommodation bei dieser Untersuchungsmethode vollständig zu entspannen.

Eine ähnliche Erscheinung zeigt sich bei Personen, welche nicht geübt sind mit einer Loupe zu untersuchen. Emmetropische Personen, welche die Fähigkeit haben, die Objecte in der Brennweite der Loupe wegen des eintretenden Parallelismus der Strahlen deutlich wahrzunehmen, bringen das Object innerhalb der Brennweite, um deutlich zu sehen; auch hier verbindet sich mit der Vorstellung des nahegelegenen Gegenstandes eine Accommodationsinnervation, welche auch dann vorhanden ist, wenn das Object im Brennpunkte steht. Auf demselben Principe beruhen der pag. 33 erwähnte Scheiner'sche Versuch und die auf diesem Versuche basirenden Optometer.

Es ist selbstverständlich, dass diese Eigenschaft einer grossen Anzahl von Untersuchern diese zwingt, stets darüber sich klar zu werden, welche Accommodationsquote sie beim Augenspiegel in Verwendung bringen, um sie in die Berechnung der gefundenen Refraction einzubeziehen.

Nur der höhergradige myopische Beobachter, etwa von 5 Dioptrien angefangen, verwendet keine Accommodation bei der Augenspiegeluntersuchung, ebenso wenig als bei dem Sehen durch eine Loupe, wie man sich an dem (pag. 83) erwähnten binoculären Apparate überzeugen kann; immer fällt das virtuelle Bild einer Loupe, welches noch deutlich wahrgenommen wird, mit dem Fernpunkt des kurzsichtigen Auges zusammen.

§ 36. **Untersuchung des Auges im umgekehrten reellen Bilde.** Die brechenden Medien des Auges entwerfen, wenn der Augengrund beleuchtet ist, ein reelles umgekehrtes Bild nach aussen, dessen Vereinigungspunkt im Fernpunkte des betreffenden Auges gelegen ist, wenn dasselbe seine Accommodation entspannt hat. Accommodirt es aber, so liegt selbstverständlich das von den Augenmedien entworfene Bild an jenem Punkt, für welchen accommodirt wird. Diese Bilder sind desshalb in der Regel so weit von dem Auge entfernt, dass sie weit hinter den Beobachter zu liegen kommen, oder, wenn auch vor dem Beobachter gelegen, theils wegen ihrer Entfernung vom beobachteten Auge, theils wegen der bei der Accommodation eintretenden Pupillenverengerung

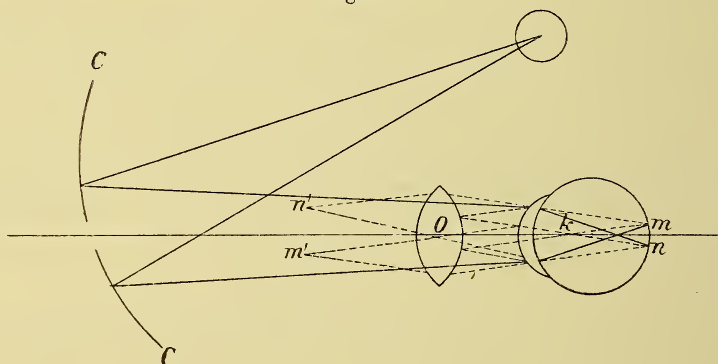
und der daraus resultirenden Verkleinerung des Sehfeldes nicht wahrnehmbar sind.

Nur höhergradig myopische Personen erzeugen durch ihre Augenmedien ein Bild ihres Augengrundes in der Luft, welches von dem vor ihnen sitzenden Beobachter deutlich als ein umgekehrtes erkannt werden kann, aber auch hier ist das Sehfeld so klein, dass ein Ueberblick über einen grösseren Theil des Augengrundes sehr erschwert ist.

Wenn wir jedoch eine Convexlinse von kurzer Brennweite vor das zu untersuchende Auge legen und damit eine stärker brechende Combination erzeugen, so können wir von dem Augengrunde eines jeden Auges ein umgekehrtes reelles Bild erzeugen und zu unserer Wahrnehmung bringen. Dieses liegt nunmehr wenige Centimeter vor der uns zugekehrten Fläche der Convexlinse und kann von jedem sehtüchtigen Auge gesehen werden.

Die beistehende Fig. 28 gibt eine Vorstellung von dem Gange dieser Art der Untersuchung.

Fig. 28.



C C ist ein Concavspiegel, welcher Licht in das Auge A wirft. Von allen Punkten einer beleuchteten Linie m n am Augengrunde treten Strahlenkegel aus, von welchen die von den Endpunkten ausgehenden in ihrem Gange zu verfolgen sind. Ist A emmetropisch und accommodationslos, so treten die beiden Strahlenbündel als parallele aus dem Auge, treffen die Convexlinse in O und vereinigen sich dort, wo die Richtungsstrahlen O m, und O n, die Brennebene der Linse schneiden. m, n, wird dann das umgekehrte reelle Bild sein.

Das so erzeugte und umgekehrte Bild liegt, wie wir soeben gesehen haben, im emmetropischen und accommodationslosen Auge in der dem Beobachter zugekehrten Brennebene der Convexlinse. Sind die Augen hypermetropisch und accommodationslos, so liegt es vor, bei myopischen Augen hinter dieser Brennebene (vom Beobachter aus gerechnet).

§ 37. Nachdem wir nun eine Vorstellung davon gewonnen haben, wie man den Augengrund zur Darstellung bringt, müssen wir über die verschiedenen Vorrichtungen sprechen, die zum Zwecke der Beleuchtung und der Erzeugung des Bildes erfunden worden sind.

Zur Beleuchtung des Auges bedient man sich nach Helmholtz mehrerer planparalleler, nicht foliirter Glasplatten, die in einer dreieckigen, trommelartigen Vorrichtung einzupassen sind und nur einen

Theil des Lichtes der Leuchtquelle ins Auge werfen, der genügend ist, die Untersuchung im aufrechten Bild vornehmen zu lassen (lichtschwacher Spiegel).

Für die Untersuchung im umgekehrten Bilde ist diese Beleuchtungsart zu schwach. Sie gibt die grösste Helligkeit, wenn die Platten 60° gegen die Lichtquelle gedreht sind. Sie hat gegen andere Beleuchtungsmethoden bei der Untersuchung im aufrechten Bilde unschätzbare Vortheile.

Vor Allem bleibt die Pupille weiter und damit das Sehfeld grösser als bei der Beleuchtung mit foliirten Spiegeln. Sodann ist man im Stande, zarte Trübungen in den brechenden Medien noch dann wahrzunehmen, wenn dieselben in dem grellen Reflexe starker Spiegel vollkommen untergegangen sind. Endlich erscheint die Färbung des Augengrundes, namentlich die Veränderungen in der Farbe der Sehnervenscheibe viel natürlicher und desshalb leichter erkennbar, als wenn viel Gelb, das unsere gewöhnlichen Lichtquellen mit sich führen, dem Reflexe beigemengt ist.

Man verwendet wohl auch bei der Untersuchung im aufrechten Bilde foliirte Planspiegel, dieselben entbehren jedoch der eben angeführten Vortheile.

Zur Untersuchung im umgekehrten Bilde werden gewöhnlich foliirte Concavspiegel von 7—10″ Brennweite (Ruete) verwendet. Doch kann man sich auch für diese Untersuchungsmethode eines Planspiegels in Combination mit einer Convexlinse, welche die Strahlen der Leuchtquelle auf den Planspiegel sammelt (Coccius) oder eines Convexspiegels bedienen (Zehender).

Von den gebräuchlichsten Augenspiegeln wollen wir nur die wichtigsten hervorheben.

a) Der grosse Spiegel von Eduard v. Jäger. Er besteht aus einer schief abgeschnittenen Trommel, in deren Ausschnitt je nach Bedarf ein lichtschwacher oder ein Concavspiegel hinein gepasst werden kann, wobei es möglich ist, durch die im hinteren Theile der Trommel untergebrachten Correctionsgläser in der Richtung der optischen Axe derselben hindurch zu sehen, und die dem Glase zukommende Brechkraft zur Beurtheilung der Refraction zu verwerthen. Bei den meisten anderen Spiegeln besteht diese Trommeleinrichtung nicht und müssen desshalb die Reflectoren der Lichtquelle zugekehrt werden. Damit stehen dieselben aber schief gegen die Antlitzfläche und muss auch schief durch die in ihrer Ebene angebrachten Correctionsgläser geblickt werden, wodurch sich die Brechkraft derselben, und zwar in einer schwer zu berechnenden Weise erhöht.

Ausserdem enthält der Jäger'sche Spiegel eine Reihe von meist concaven Correctionsgläsern, sowie eine zweizöllige Convex-(Objectiv-) Linse zur Erzeugung des umgekehrten Bildes.

b) Der kleine Spiegel von Liebreich. Dieser enthält einen concaven Reflector von foliirtem Glase oder polirtem Stahl, welcher an seinem Rande eine Vorrichtung besitzt, um ein kleines Correctionsglas hinter die Oeffnung des Spiegels bringen zu können. Eine Objectivlinse und eine kleine Sammlung Correctionsgläser vervollständigen die Ausrüstung dieses früher viel gebrauchten Spiegels, der sich fast nur zur Beobachtung im umgekehrten Bilde eignet.

c) Der Refractometer von Loring. Derselbe hat zur Beleuchtung des Auges einen foliirten Plan- und einen foliirten Concavspiegel, welche abwechselnd in einer Klemme an der vorderen Seite des Spiegels angebracht werden können.

In neuerer Zeit dient zur Beleuchtung ein rechteckiger foliirter, um eine verticale Axe drehbarer Planspiegel, mit welcher Vorrichtung die Drehung des ganzen Apparates und damit die schiefe Stellung der Correctionsgläser vermieden wird. An der hinteren Fläche desselben werden Metallscheiben, in deren Rand kleine Correctionsgläser eingelassen sind, in der Weise eingeklemmt, dass ihr Rand sich vor der Spiegelöffnung vorbeidreht (Rekoss'sche Scheibe). Solche Scheiben sind zwei vorhanden, welche abwechselnd in den Spiegel eingelegt werden können.

Die Refractometer, deren seit Loring die schwere Menge construirt worden ist, bieten den Vortheil, dass die Correctionsgläser rasch durch einfache Drehung der Scheibe gewechselt und die Brechzustände der untersuchten Augen schneller und correcter bestimmt werden können, als durch andere Vorrichtungen, bei welchen der Gläserwechsel ein umständlicher und desshalb verlangsamter ist.

Der Umstand, dass der Durchmesser der Correctionsgläser nicht unter ein gewisses Minimum (2—3 mm) sinken darf, um nicht die Deutlichkeit der Wahrnehmung zu vernichten, bringt es mit sich, dass das Anbringen der nothwendig grossen Zahl dieser Gläser Schwierigkeiten bereitet. An einer einzigen Scheibe können sie nicht angebracht werden, weil der Durchmesser derselben zu gross ausfallen und das Instrument unförmig machen müsste; die Vertheilung auf zwei oder drei Scheiben aber hat, wie beim Loring'schen Instrumente, die Nothwendigkeit zur Folge, während der Untersuchung die Scheiben wechseln zu müssen, wodurch eine empfindliche Störung herbeigeführt wird. Es wurden desshalb solche Augenspiegel construirt, bei welchen zwei Scheiben sich in der Weise über einander bewegen, dass durch Combination je zweier Gläser eine grosse Reihe verschiedener Correctionen erzeugt werden kann (Knapp, Landolt u. A.).

§ 38. Die Augenspiegeluntersuchung wird gewöhnlich bei künstlicher Beleuchtung vorgenommen. Als Leuchtquelle dient eine Gas-, Petroleum- oder Oellampe. Die Gas- und Petroleumlampen sollen mit Rundbrennern versehen sein. Die Flachbrenner sind unvortheilhaft, ihr Licht auch zu wenig intensiv. Im Nothfalle muss zuweilen auch eine Kerzenflamme als Lichtquelle herhalten, selten, und wohl nur experimenti causa, bedient man sich des diffusen Tageslichtes zur Beleuchtung des Augengrundes, hierbei muss in einem, das Zimmer verfinsternden geschlossenen Fensterladen eine runde oder viereckige Lücke angebracht werden, durch welche das von dem Reflector aufgefangene Tageslicht einfällt.

Bei directem Sonnenlicht wurden selbstverständlich nur amaurotische Augen untersucht.

Die Augenspiegeluntersuchung wird in einem verfinsterten Zimmer, welches nicht zu klein sein darf, um nicht Accommodationsbewegungen anzuregen (4—6 m lang), vorgenommen. Die Lampe muss beweglich und in verticaler Richtung verschiebbar sein. Die Lampe, das beobachtete Auge und die Augen des Beobachters müssen in einer horizontalen

Ebene liegen, wesshalb die Ungleichheiten in der Körperlänge des zu Untersuchenden und des Untersuchers durch entsprechende Vorrichtungen ausgeglichen werden müssen.

Bei der Untersuchung im aufrechten Bilde ist es vortheilhaft, dass der Beobachter das zu untersuchende Auge mit seinem eigenen gleichnamigen prüft, da im entgegengesetzten Falle die beiderseitigen Nasenvorsprünge der nothwendigen grossen Annäherung hindernd in den Weg treten. Stets ist es vortheilhaft, das Auge, welches der Lichtquelle näher liegt, der Untersuchung zu unterziehen. Desshalb muss es möglich sein, die Lampe abwechselnd zu beiden Seiten des zu Untersuchenden aufzustellen, resp. diesen zu beiden Seiten der Lampe sitzen zu lassen.

Bei der Untersuchung im umgekehrten Bilde ist es gleichgültig, mit welchem Auge untersucht wird. Aber auch hier ist es vortheilhaft, die Lampe auf der Seite des zu untersuchenden Auges anzubringen. Hiebei muss darauf geachtet werden, dass der Arm der die Objectivlinse führenden Hand nicht das Licht theilweise oder vollkommen abschneide.

Dass in dem Gemache, in welchem untersucht wird, eine zweite Lichtquelle oder eine das Licht stark reflectirende Fläche nicht zugegen sein darf, ist selbstverständlich.

Bei der Untersuchung wird das zweite nicht beschäftigte Auge gewöhnlich geschlossen. Wird mittelst des Reflectors aus grösserer Entfernung (etwa $^{1}/_{3}$ m) Licht in die Pupille des zu beobachtenden Auges geworfen, so erscheint diese im röthlichen Lichte leuchtend. Prüft man mit schwächerem Lichte, dann ist die Pupille weiter als bei gewöhnlicher guter Tagesbeleuchtung, wird aber mit starkem Lichte untersucht, dann verengt sich die Pupille oft sehr bedeutend. Dies ist besonders dann der Fall, wenn das zu prüfende Auge direct in das vom Reflector zurückstrahlende Licht sieht, wo sich also die Strahlen in der Macula lutea vereinigen, es ist desshalb schon aus dem Grunde vortheilhaft, die Augen etwas seitlich blicken zu lassen, am besten ist es, wie wir sehen werden, auch zu anderen Zwecken das beobachtete Auge etwa um 15^{0} gegen die Nase drehen zu lassen.

Der Reflex des Spiegels fällt dann auf den blinden Fleck, den Sehnerveneintritt und vermittelt desshalb eine grössere Erweiterung der Pupille. Gleichzeitig verändert der Reflex, den wir aus dem Auge erhalten, seine Farbe, indem er bläulichweiss oder grauweiss wird. Nähern wir uns dem Auge, so verliert sich allmälig der die Pupille ausfüllende Reflex, indem er sich nach und nach in einen cylindrischen, die Pupille nicht ausfüllenden verwandelt. Dieser letztere Reflex ist das verschwommene umgekehrte Zerstreuungsbild der Lichtflamme, welches eben nur bei grösserer Annäherung wahrgenommen wird.

In hochgradig myopischen Augen, wo dies nicht stattfindet, können wir desshalb den von der Pupille begrenzten Reflex auch noch bei grosser Annäherung wahrnehmen.

Es ist selbstverständlich, dass die Grösse des Sehfeldes am Augengrunde, das wir mit einem Blicke übersehen, verschieden gross ist, je nach der Weite der Pupille und je nach der Entfernung, in welcher wir uns vom Auge befinden.

Die beiden umstehenden Figuren 29 und 30 zeigen durch eine einfache Construction, wie bei gleicher Entfernung vom Auge die Grösse

des Sehfeldes mit der Grösse der Pupille wächst, und wie bei gleicher Grösse der Pupille die Grösse des Sehfeldes mit der Annäherung an das beobachtete Auge zunimmt.

Fig. 29.

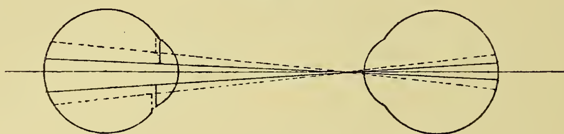
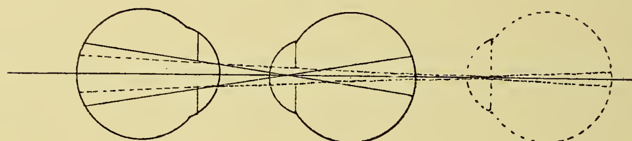


Fig. 30.

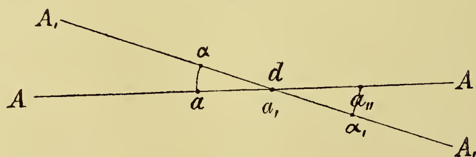


§ 39. Bevor man die Details des Augengrundes klar wahrnehmbar macht, ist es bei der Augenspiegeluntersuchung nothwendig, sich darüber Gewissheit zu verschaffen, ob die brechenden Medien vollkommen durchsichtig und klar sind. Immer ist es vortheilhaft, diese Prüfung zuerst mit einem lichtstarken Spiegel zu beginnen, wobei die groben Trübungen, besonders jene, welche axial liegen, leicht hervortreten.

Sodann geht man daran, dieselbe Prüfung mit schwachem Lichte vorzunehmen, auch wenn kein Verdacht auf die Gegenwart einer zarteren Trübung, die man übersehen hatte, besteht. Solche zarte Trübungen können fast nur mittelst des lichtschwachen Spiegels eruirt werden, indem der starke Reflex von foliirten Spiegeln solche zarte Unregelmässigkeiten in seinem hellen Lichte nicht aufkommen lässt. Besonders scharf werden solche Opacitäten gesehen, wenn man statt des rothen Reflexes von der Chorioidea den weissen Reflex, den der Sehnervenquerschnitt liefert, in Anwendung zieht. Das schwache Licht der nicht foliirten Glasplatten hat noch den Vortheil, dass die Pupille sich etwas mehr erweitert und auch mehr peripher gelegene Partien der brechenden Medien durchleuchtet und durchsucht werden können.

Finden sich Trübungen vor, so entsteht die Frage, an welcher Stelle des Auges sich dieselben befinden.

Fig. 31.



Theoretisch genommen müsste es leicht sein, den Sitz solcher Trübungen zu bestimmen, wenn man das Auge eine Bewegung ausführen lässt. Wäre z. B. (Fig. 31) die Linie A A die Augenaxe, der Punkt d der Drehpunkt des Auges, die Punkte a, $a_{,}$ und $a_{,,}$ Trübungen,

welche in der Axe liegen, so ist es klar, dass, wenn das Auge sich z. B. nach oben bewegt, die Augenaxe also die Stellung $A_{,}A_{,}$ einnimmt, dass a nach oben gegen α, $a_{,,}$ nach abwärts gegen $\alpha_{,}$ sich bewegen, und dass $a_{,}$, weil es im Drehpunkte selbst liegt, gar keine Bewegung machen wird. Daraus lässt sich der Satz formuliren:

Alle Trübungen, welche *vor* dem Drehpunkte des Auges liegen, machen gleichgesinnte, alle, welche *hinter* dem Drehpunkte liegen, entgegengesetzte Bewegungen wie das Auge. Trübungen, die im Drehpunkte selbst liegen, bewegen sich auch bei den Bewegungen des Auges nicht.

Die Erfahrung lehrt jedoch, dass auch solche Trübungen, welche bestimmt *vor* dem Drehpunkte des Auges, aber hinter der Pupille liegen, scheinbar sich in entgegengesetzter Richtung wie das Auge bewegen. Diese Täuschung wird durch die ungleichen Excursionen, welche diese Trübungen und der Pupillarrand machen, vollkommen aufgeklärt. Blickt z. B. das Auge nach oben, so bewegt sich sowohl die Trübung als auch die Pupille nach oben; nachdem aber erstere näher dem Drehpunkte liegt als letztere, so ist die Excursion der Bewegung der Pupille eine grössere als die der Trübung und diese verschwindet desshalb hinter dem unteren Pupillarrande, wie eine Trübung, die in eine entgegengesetzte Richtung sich bewegt. Man befreit sich rasch von dieser Täuschung, wenn man die Pupille erweitert und mit dem Spiegel sehr nahe an das Auge herangeht.

Mauthner benutzt den Hornhautreflex zur Bestimmung des Sitzes von Trübungen im Auge.

Man lasse die gefundene Trübung und den Hornhautreflex der Lichtflamme mit einander zusammen fallen. Dieser letztere Reflex macht bei den Bewegungen des Auges Excursionen in umgekehrter Richtung. Folgt nun bei Bewegung des Auges die Trübung dem Hornhautreflexe, so liegt die erstere *hinter* dem Drehpunkte; machen aber Trübung und Hornhautreflex entgegengesetzte Bewegungen, dann liegt erstere *vor* dem Drehpunkte des Auges.

Die *pathologischen* Trübungen der Augenmedien sind sehr zahlreich und mannigfach, doch haben wir hier nicht von diesen zu sprechen, sondern von den physiologisch vorkommenden Opacitäten.

Man sieht zuweilen von oben her in die durchleuchtete Pupille dunkle binsenartige Trübungen einlaufen, welche alsogleich als Cilien des oberen Lides erkannt werden, wenn man dieses letztere ein wenig abhebt. Weiters bemerkt man sehr zarte schwarzgeränderte Bläschen, welche von oben herabfliessen, sich aber sehr leicht mit dem Oberlide von der Hornhaut abwischen lassen. Es sind dies kleine Luftbläschen, welche in der die Cornea stets bedeckenden Feuchtigkeit entstanden sind. Ausserdem finden sich zuweilen dunkle fädige oder klumpige Trübungen vor, welche sehr leicht als auf der Hornhautoberfläche befindliche erkannt werden können. Es sind dies Partikel des Conjunctivalschleimes.

Gewöhnlich, besonders bei jugendlichen Personen, erscheint der die Pupille ausfüllende Reflex vollkommen gleichmässig roth- oder bläulich-weiss, je nachdem das Licht von der Chorioidea oder vom Sehnervenquerschnitte zurückstrahlt. Zuweilen, besonders bei älteren Personen, sehen wir eine kreisrunde, dunkle und etwas verschwommene Linie den mittleren Theil der durchleuchteten Pupille von einem schmalen

Randtheile trennen. Es markirt diese Linie die Grenze zwischen dem Kern und der Corticalis der Linse und sie entsteht ebenso, wie der schwärzliche Rand am Aequator der Linse bei durchfallendem Lichte, aus totaler Reflexion der von rückwärts die vordere Linsenkapsel treffenden Strahlen.

Untersucht man im umgekehrten Bilde, so werden auch bisweilen Trübungen vorgetäuscht, welche man in die Medien oder in den Augengrund zu verlegen pflegt; so können Sprünge in der Objectivlinse, sogenannte Schlieren im Glase, endlich oberflächliche Flecke in derselben, ja sogar die am Rande der Linse eingravirte Nummer des Glases für Trübungen der Medien gehalten werden, ebenso wie man zuweilen den lichten Reflex der die Linse haltenden Finger, den die Oberfläche derselben zurückwirft, in den Augengrund verlegen und für eine peripher gelegene atrophische Chorioidealstelle halten kann. Man wird dieser Täuschungen alsogleich inne, wenn man mit der Linse kleine Bewegungen macht, wodurch die scheinbare Trübung aus dem Gesichtsfelde verschwindet.

§ 40. Der Grund des menschlichen Auges kann, mit oder ohne Correctionsgläser, in allen seinen Details bei der gewöhnlichen Augenbeleuchtung vollkommen klar und deutlich wahrgenommen werden. Die auffallendste Stelle des gesammten Augengrundes ist der Sehnerveneintritt mit seinen sich in die Peripherie der Netzhaut ausbreitenden arteriellen und venösen Centralgefässen. Die ganze übrige Fläche des Fundus oculi zeigt gleichmässig ein gelbrothes, fein gekörntes Aussehen, welches nur in der nächsten Umgebung des Sehnerven wie von einem zarten grauen oder röthlichen Schleier bedeckt erscheint. Diese Färbung oder Körnung stammt von dem Pigmente der sechseckigen Epithelzellen her, mit welchen die äussersten Netzhautschichten innig verbunden sind. Fehlt dieses Pigment oder ist es sehr verdünnt, dann ändert sich auch die Färbung und das Aussehen der Chorioidea, ohne aber dass diese Veränderung in das Gebiet des sicher Pathologischen fällt. Es zeigen sich in solchen Fällen breitere und schmälere, vielfach verschlungene gelbliche Bänder und Streifen, welche Maschenräume bilden, in deren Lücken dunkles Pigment zu sehen ist. In der Nähe der Sehnervenscheibe zeigt dieses Netzwerk schmälere und kürzere, in der Peripherie breitere und längere Lücken.

Der früher erwähnte graue oder röthliche Schleier in der Umgebung des Sehnerven rührt von der Netzhaut her, welche, im Allgemeinen durchsichtig, an dieser Stelle, vornehmlich aber an der medialen Seite wegen der grossen Menge Sehnervenfasern, die sich hier in sie einsenken, beträchtlich verdickt erscheint. Der sichtbare, intraoculäre Theil des Sehnerven (Sehnervenende, Sehnervenscheibe, Sehnervenquerschnitt, Sehnervenkopf, Sehnervenpapille, papilla s. discus nervi optici), welcher, wie wir später sehen werden, unter sehr verschiedener, scheinbarer Vergrösserung erscheint, wird am bequemsten wahrgenommen, wenn das beobachtete Auge etwa 15° nasenwärts gedreht und etwas gehoben wird. Er präsentirt sich als eine hellgelbe oder grau-röthliche, meist kreisrunde Scheibe, welche nur selten eine gleichförmige, ebene Fläche zeigt, gewöhnlich aber an der Nasenseite stärker als auf der Schläfenseite hervorragt und in diesem Falle an der letzteren Stelle heller und mehr weiss erscheint.

Die Unebenheit in der Oberfläche des Sehnervenquerschnittes rührt von dem Umstande her, dass auf der Nasenseite, sowie nach oben und nach unten die weitaus grössere Menge von Sehnervenfasern angehäuft ist, während auf der temporalen Seite nur eine dünne Schicht dieser Fasern gegen den Sehnervenrand hinzieht, welche die darunter liegende, stark weiss reflectirende Lamina cribrosa durchscheinen lässt. Die Sehnervenscheibe wird von einer schmalen, auf der temporalen Seite gewöhnlich etwas breiteren, weissen Linie begrenzt, welche den Namen Bindegewebsgrenze oder Bindegewebsring führt. Nach aussen wird dieser Streifen von der Chorioidealgrenze eingeschlossen, welche häufig einen mehr oder weniger breiten, gewöhnlich aber nur an der temporalen Seite bestehenden Streifen von schwarzem Pigment zeigt.

Nahe der Mitte der Sehnervenscheibe, dem nasalen Rande näher als dem temporalen, liegt eine mehr oder weniger vertiefte und desshalb hellere Stelle, aus welcher die Centralgefässe der Netzhaut an die Oberfläche hervortreten (porta vasorum). — In der Regel gibt es zwei Hauptstämme der Centralschlagader, welche sich, aus der Tiefe des Sehnervenkopfes hervortretend, gegen die Fläche der Papille umbiegen, direct nach oben resp. nach unten verlaufen und in der Nähe des Sehnervenrandes, zuweilen erst auf der Chorioidea, in je zwei Zweige zerfallen, die sich einerseits gegen die nasale, andererseits gegen die temporale Seite der Netzhaut wenden, um diese mit arteriellem Blute zu versorgen. Die Venen, welche oberflächlicher liegen als die Arterien und diese oft decken und kreuzen, pflegen noch auf der Papille aus je zwei Aesten zu bestehen, welche sich wieder in der Nähe der Porta oder erst im Sehnervenkopf selbst zu den den Arterien entsprechenden Stämmen vereinigen. Jede Verzweigung der Arterie wird bis in die äusserste Peripherie von einer benachbarten Vene begleitet. Ausser durch die Verzweigungsart unterscheiden sich die Arterien von den Venen in mehreren wesentlichen Stücken. Die Arterien werden augenblicklich an ihrem helleren, arteriellen Blute von den dunkeln Venen unterschieden. In normalen Augen verhält sich der Durchmesser der Arterie zu dem der begleitenden Vene wie 2 : 3. In ihrem ganzen Verlaufe, welcher im Allgemeinen ein mehr gestreckter ist, als der der Venen, zeigen die Arterien in ihrer Mitte einen mehr oder weniger weissen, hellen Streifen, der sie bis in die feinste Verästelung begleitet und sich von einem ähnlichen Streifen, der an den Venen gesehen wird, durch grössere Helligkeit, Gleichmässigkeit und eine geringere Breite unterscheidet. Uebrigens zeigen die Venen den Streifen, welcher mehr verbreitert, aber matter erscheint, nur mehr in der Nähe des Sehnerven, während die dünnen Verästelungen derselben einen solchen nicht darbieten. Diese Streifen sind, wie Eduard v. Jäger gezeigt hat, Reflexe des in das Auge geworfenen Lichtes an der cylindrischen Blutsäule. Was wir nämlich in der Regel an den Gefässen wahrnehmen, ist nur die Blutsäule, während die Gefässwandung unter normalen Verhältnissen nur äusserst schwer zur Wahrnehmung kommt, weil dieselbe denselben Brechungsindex wie die umgebende Netzhaut hat.

Den Beweis für seine Behauptung führte v. Jäger auf experimentellem Wege. Wenn er zwei Glasröhren von reinem Glase und etwa 6 mm dicker Wandung mit verschieden hellen Carminlösungen füllte und dieselben sich kreuzend auf einem Brettchen befestigte, auf welchem die

Färbung des Augengrundes nachgeahmt war, wenn er ferner das Brettchen mit den Glasröhren in ein verfinstertes Zimmer brachte und den Reflex einer Lampe, welche in gleicher Höhe mit dem Brettchen, durch einen dichten Schirm von diesem getrennt, angebracht war, mittelst des Augenspiegels auf dasselbe fallen liess, so sah er längs der Mitte beider Röhren lichte Reflexe auftreten und zu beiden Seiten der rothen Säulen dunkle Linien, welche von feinen und hellen Linien begrenzt werden. Ausser diesen Reflexen sah er noch mattere die Mitte der rothen Säulen begleiten, welche an der unterliegenden Glasröhre nur bis zur Wandung der oberen reichen. Setzte er aber das Brettchen mit den Glasröhren in ein mit Creosot gefülltes, flaches Glas mit vorderer, ebener Wand, so verschwanden alle vom Glase herrührenden Reflexe, und nur der schwächere Reflex längs der rothen Säulen blieb sichtbar, wobei der der unterliegenden Röhre bis an den farbigen Inhalt der oberen heranreicht. Das Creosot hatte nämlich denselben Brechungsindex wie das von v. Jäger benutzte Glasrohr, so dass letzteres, in das erstere eingetaucht, vollkommen verschwand. Dass hierüber keine Täuschung vorlag, konnte daraus ersehen werden, dass, wenn der farbige Inhalt aus den Röhren entfernt worden war, die wieder in das Creosot eingetauchten, leeren Röhren nicht nur keinen Reflex wahrnehmen liessen, sondern überhaupt nicht mehr sichtbar waren.

Die Gefässvertheilung auf der Oberfläche der Papille ist eine derartige, dass über die temporale Hälfte derselben kein Theil der Centralgefässe hinüberzieht, sondern dass nur einzelne zarte, arterielle Gefässzweigchen, aus der Tiefe auftauchend, die temporale Grenze überschreiten, um sich in das Netzhautgebiet zwischen Sehnervenrand und Macula lutea einzusenken. Diese letztere, in deren Mitte die Fovea centralis sich befindet, zeichnet sich durch den Mangel gröberer Gefässäste aus. Sie wird vielmehr von oben und von unten durch die bogenförmig sie begrenzenden Zweige der Centralgefässe umschlossen, von welchen aus sehr zarte Reiserchen, welche unter gewöhnlichen Umständen nicht sichtbar sind, radiär gegen die Mitte des gelben Fleckes verlaufen. Dieser selbst erscheint bei der Untersuchung im aufrechten Bilde nur als eine dunklere Stelle des Augengrundes, in deren Mitte nur selten ein kleiner lichterer Fleck wahrzunehmen ist. Im umgekehrten Bilde erscheint dagegen die Macula lutea, doch wohl nur im jugendlichen Auge, als eine bevorzugte Stelle des Augengrundes, indem sich daselbst eine querovale, dunklere Fläche von etwas über Papillengrösse präsentirt, die von einem schmalen, hellglänzenden, gelblichen Streifen umgeben ist, von welchem bei gewissen Wendungen des Spiegels verschieden lange und glänzende Reflexstreifen ausgehen. Die Mitte dieser Figur, welche im umgekehrten Bilde ungefähr in einer Horizontalen mit dem oberen Papillenrande zu liegen scheint, zeigt eine dunkelbraune, entweder rundliche oder dreieckige Stelle, in deren Mitte ein weisses Pünktchen wahrzunehmen ist.

Ausser verschiedenen, in das Gebiet des Physiologischen gehörenden, mehr weniger wichtigen Anomalien und Abweichungen zeigt der Augengrund bei den verschiedenen Refractionsanomalien, abgesehen von der scheinbaren Vergrösserung, gewisse Veränderungen in seinem Aussehen.

Was vorerst das hypermetropische Auge betrifft, so zeigt sich in einem solchen die Form des Sehnerven häufig längsoval, auch wenn

kein Astigmatismus zugegen ist. Die halbmondförmige Verbreiterung des Bindegewebsringes, welcher auf der temporalen Seite so häufig anzutreffen ist, ist in solchen Augen selten zu sehen.

Das myopische Auge zeigt, gegen das hypermetropische gehalten, eine viel grössere Reihe von Abnormitäten. Die auffälligste von ihnen ist die auf der temporalen Seite der meisten kurzsichtigen Augen sichtbare Chorioidealatrophie, das sogenannte Staphyloma posticum chorioideae. Dasselbe hat eine im Ganzen dreieckige Form, deren Spitze gegen die Fovea centralis gerichtet ist. Mit der Basis grenzt sie an den temporalen Theil des Bindegewebsringes und umgreift auch nach oben und unten mit ihren Ecken den Sehnervenrand.

Häufig ist diese Figur an mehreren Theilen ihres Randes, zuweilen vollständig vom schwarzen Chorioidealpigment begrenzt. Ihre Entstehung aus einer Atrophie der Chorioidea documentirt sie durch die Reste dieser Membran, welche sich häufig auf dieser Stelle vorfinden. Zuweilen ist noch das Geflecht der Aderhautgefässe mit seinen pigmentirten Lücken erhalten. Bei fortgeschrittener Atrophie kann man zwar von diesen Gefässen nichts mehr sehen, aber die Anordnung des zurückgebliebenen Pigmentes zeigt noch die Spuren seiner Herkunft.

Selten zeigt sich neben einem atrophischen Chorioidealstaphylom ein sich anschliessender Halbmond, innerhalb dessen nur das Pigment in den Epithelzellen fehlt, und der gleichsam ein Staphyloma in der ersten Anlage darstellt. Bei den höchsten Graden der Myopie entsteht eine Chorioidealatrophie auf der Nasenseite des Sehnerven und fliessen die beiderseitigen Staphylome mit ihren Ecken oberhalb und unterhalb der Papille zu einem geschlossenen Ringe zusammen, der an beiden Seiten breiter, oberhalb und unterhalb aber etwas schmäler ist. — In seltenen Fällen entsteht das Staphylom an der oberen oder unteren Seite des Sehnerven und ist dann das Auge gewöhnlich in höherem Grade sehschwach. Wird im umgekehrten Bilde untersucht, so präsentirt sich der Sehnerv als ein Oval mit vertical stehender grosser Axe. Diese Form erlangt der Sehnerv dadurch, dass er wegen der Ausbuchtung des hinteren Poles nach hinten schief gegen die einfallenden Strahlen gelegen und die Projection seines horizontalen Durchmessers verkürzt ist. Aus demselben Grunde scheint die Macula lutea dem Sehnervenrande näher zu stehen als im emmetropischen Auge. Der Sehnervenquerschnitt zeigt im höhergradig myopischen Auge eine stärkere Röthung und nähert sich die Farbe desselben der Rosenröthe. Das ist eine Folge theils wirklicher stärkerer Hyperämie, theils aber der Effect des Contrastes mit den benachbarten, hellweisses Licht reflectirenden Stellen.

Ist Astigmatismus zugegen, so erscheint bei der Untersuchung im aufrechten Bilde der Sehnerv in der Richtung des stärkstbrechenden Meridianes in die Länge gezogen. Bei einer bestimmten Einstellung sind die diesem Meridiane entsprechenden Contouren deutlich wahrnehmbar, während die auf dieser Richtung senkrecht stehenden undeutlich und verschwommen sind. Wird aber das Auge für den letzteren Meridian corrigirt, so treten die dem schwächstbrechenden Meridian parallelen Contouren deutlicher hervor, während die ersteren undeutlich werden. Im umgekehrten Bilde dagegen erscheint die Papille in der Richtung des

stärkstbrechenden Meridians verkürzt, in der darauf senkrechten verlängert. Dieses entgegengesetzte Verhalten der Form des Sehnerven bei beiden Untersuchungsmethoden ist für die Diagnose des Astigmatismus von grösster Wichtigkeit.

§ 41. Der Brechzustand des Auges wird, wie wir schon früher erfahren haben, auf verschiedene Weise, aber auf keine so sicher festgestellt, wie durch die Augenspiegeluntersuchung. Hierbei ist allerdings vorausgesetzt, dass sowohl das beobachtete als auch das beobachtende Auge accommodationslos sind, oder doch im Falle, als der Beobachter accommodirt, der Grad der verwendeten Accommodation ihm stets bekannt sei. Das beobachtete Auge hat fast immer seine Accommodation entspannt und scheint diese Entspannung durch das blendende Licht und durch die mangelnde Fixation bedingt zu sein.

Accommodirt der Beobachter, was, wie schon früher erwähnt wurde, bei allen emmetropischen, hypermetropischen und schwach myopischen Personen der Fall ist, so kann der Grad dieser Accommodationsanspannung nicht, wie zuweilen behauptet wird, durch die Empfindung des Accommodationsgrades entstehen, welche für so feine Unterschiede viel zu stumpf ist, es muss vielmehr jeder Beobachter aus Erfahrungen an emmetropischen Augen, die ihm als solche auf anderem und verlässlichem Wege bekannt geworden sind, den Grad der Accommodation, den er beim Augenspiegeln verwendet, kennen lernen. Durch lange Uebung gelingt es wohl, den Grad der Accommodationsanspannung herabzumindern, und in Folge dessen ist es nothwendig, dass man sich von Zeit zu Zeit, wie früher erwähnt, an emmetropischen Objecten von dem Grade der Accommodationsanspannung beim Ophthalmoscopiren überzeugt. Ueber den Grund dieser Accommodationsanspannung wurde schon früher (pag. 33) gesprochen und sei hier nur wiederholt, dass höhergradig myopische Personen, welche beim Augenspiegeln ihre Accommodation vollkommen in der Ruhelage lassen, sich κατ' ἐξοχήν zur Bestimmung der Refraction mit dem Ophthalmoscope eignen.

Selbstredend wollen wir hier von der Refractionsbestimmung im aufrechten Bilde sprechen und von den anderen ophthalmoscopischen Methoden, den Brechwerth des Auges aufzufinden, später abhandeln.

Dass bei der Eruirung der Refraction die von dem Beobachter aufgewendete Accommodationsquote mit in Rechnung gezogen werden müsse, bedarf wohl keiner weiteren Erörterung, da doch das accommodirte Auge den Brechzustand des Beobachters selbst verändert. Es entsteht nun die Frage: was ist das Maass, an welchem wir die Refraction messen?

Die Antwort hierauf lautet:

Die Deutlichkeit, mit welcher wir gewisse Details des Augengrundes wahrnehmen.

Hier wäre vor Allem der gelbe Fleck und vorzugsweise die in diesem befindliche centrale Grube in Betracht zu ziehen, denn durch dieses Centrum werden uns die distinctesten Gesichtseindrücke vermittelt und wenden wir auch dieses Centrum den Objecten beim Blicken zu. Die Macula lutea aber ist diejenige Stelle des Augengrundes, an welcher wir am wenigsten sehen, sie ist gefässlos und zeichnet sich im aufrechten Bilde nur durch ein dunkleres Colorit vom übrigen Augen-

grunde aus. Das Urtheil, ob man die Stelle der Macula lutea scharf sehe, ist desshalb im normalen Auge nicht abzugeben.

Es muss desshalb ein anderes Object aufgesucht werden, an dessen deutlicher Wahrnehmung der Brechzustand des Auges gemessen werden kann.

Die Gefässe, auch die tiefer liegenden Arterien, selbst diejenigen Verzweigungen, welche bis knapp in die Gegend des gelben Fleckes reichen, können es nicht sein, weil dieselben in der Faserschichte verlaufen und desshalb dem Knotenpunkte näher liegen als die lichtempfindenden äusseren Netzhautschichten.

Am vortheihaftesten ist es, den temporalen Begrenzungsstreifen des Sehnerven und zwar den sogenannten Chorioidealring, der fast immer mehr oder weniger pigmentirt erscheint, als Probeobject zu wählen, indem doch die Lage des Pigmentepithels durch beinahe dieselbe Ebene bezeichnet wird, in welcher die Spitzen der Zapfen und Stäbchen liegen. Man darf nun wohl annehmen, dass, wenn diese Pigmentflecke zur deutlichen Wahrnehmung kommen, aus diesem Umstande ein richtiger Schluss auf die Refraction gemacht werden kann. Aber selbst wenn eingewendet werden wollte, dass mit einer solchen Bestimmung die Lage der äusseren Netzhautschicht in der Nähe des Sehnerven und nicht an der Macula lutea, für welche sie eigentlich nothwendig ist, festgestellt wird, so kann hierauf erwidert werden, dass das Verhältniss der Macula zum Sehnervenrande wohl in allen Augen dasselbe sein werde, so dass die Refractionsbestimmung an der Chorioidealgrenze ein sicheres Maass, das gelegentlich reducirt werden könnte, feststellt.

Die wichtigste Grundlage für die ophthalmoscopische Refractionsbestimmung ist die Kenntniss von dem Brechwerthe des eigenen Auges und von dem Umstande, ob und in welchem Grade die Accommodation dabei in Thätigkeit gesetzt wird. Unter dieser Voraussetzung muss eruirt werden, ob mit freiem Auge oder mit einem Correctionsglase am deutlichsten gesehen werde.

In letzterer Beziehung gilt der Grundsatz, dass das schwächste Concavglas, mit welchem schon, und das stärkste Convexglas, mit welchem noch deutlich gesehen wird, die Werthe für die Berechnung der Refraction abgeben.

Bezeichnen wir mit $B_{,}$ das Auge des Beobachters, mit $B_{,,}$ das des Beobachteten, ist $\frac{1}{a}$ die Refraction des Beobachters, $\frac{1}{A}$ das Correctionsglas, und bezeichnet d die Distanz zwischen Glas und Knotenpunkt des Auges, so lässt sich folgendes Schema für die Beurtheilung der Refraction des beobachteten Auges aufstellen:

I. $B_{,}$ hat E, $\frac{1}{a} = 0, \frac{1}{A} = 0,$ dann hat $B_{,,}$ E

„ „ „ $\frac{1}{a} = 0, \frac{1}{A}$ positiv, „ „ „ $H = \frac{1}{A - d}$

„ „ „ $\frac{1}{a} = 0, \frac{1}{A}$ negativ, „ „ „ $M = \frac{1}{A + d}$

II. $B_{,}$ hat H, $\frac{1}{A} = \frac{1}{a}, \frac{1}{A}$ also positiv, dann hat $B_{,,}$ E

" " " $\frac{1}{A} = 0$, ... " " " $M = \frac{1}{a + d}$

" " " $\frac{1}{A}$ negativ, ... " " " $M = \frac{A + a}{Aa + d}$

" " " $\frac{1}{A}$ positiv:

a) $\frac{1}{A} > \frac{1}{a}$, ... " " " $H = \frac{a - A}{Aa - d}$

b) $\frac{1}{A} < \frac{1}{a}$, ... " " " $M = \frac{A - a}{Aa + d}$

III. $B_{,}$ hat M, $\frac{1}{A} = \frac{1}{a}$, ... " " " E

" " " $\frac{1}{A} = 0$, ... " " " $H = \frac{1}{a - d}$

" " " $\frac{1}{A}$ positiv, ... " " " $H = \frac{A + a}{Aa - d}$

" " " $\frac{1}{A}$ negativ:

a) $\frac{1}{A} > \frac{1}{a}$, ... " " " $M = \frac{a - A}{Aa + d}$

b) $\frac{1}{A} < \frac{1}{a}$ . . . . " " " $H = \frac{A - a}{Aa - d}$

In diesem Schema ist angenommen, dass $B_{,}$ stets accommodationslos sei. Nach dem auf pag. 105 Erwähnten wissen wir, dass das nicht der Fall ist, dass vielmehr alle positiven Correctionsgläser durch ein entsprechendes Accommodationsquantum ersetzt werden können und in der Regel auch wirklich ersetzt werden.

Es sind desshalb in jedem Falle, in welchem der Augengrund ohne ein Correctionsglas deutlich erkannt wird, Convexgläser, von den schwächsten angefangen, anzuwenden, um zu erfahren, ob diese nicht durch Accommodation ersetzt worden waren. Aber selbst in dem Falle, als mit solchen positiven Gläsern schlechter gesehen wird, darf der emmetropische Beobachter nicht auf Emmetropie, der hypermetropische nicht auf Myopie desselben Grades und der schwach myopische Beobachter nicht auf Hypermetropie desselben Grades schliessen, da, wie es schon wiederholt erwähnt wurde, von solchen Beobachtern ein mehr oder weniger starker Grad von Accommodation beim Ophthalmoscopiren in allerdings unzweckmässiger Weise in Thätigkeit gesetzt wird.

Der emmetropische Beobachter, welcher erfahrungsgemäss 3—4 D seiner Accommodation verwendet, muss aus dem Umstande, dass er am besten mit freiem Auge, mit Convexgläsern aber undeutlicher sieht, den Schluss ziehen, dass das beobachtete Auge eine Hypermetropie von 3—4 D darbiete.

Hat der Beobachter eine H mässigen Grades, so wird nebst der Correction der H auch weiters ein Accommodationsgrad von 2—3 D innervirt und es muss ein solcher Beobachter, falls er ohne negatives Correctionsglas am besten und mit einem positiven Glase schlechter sieht, auf H des beobachteten Auges und zwar von 2—3 D schliessen.

Ebenso muss ein Beobachter mit schwacher M die Diagnose auf H des beobachteten Auges stellen, wenn er ohne Correctionsgläser am besten sieht, und zwar wird der Grad der H gleich sein dem Grade der Myopie mehr dem Grade der gewohnheitsgemäss angewendeten Accommodation.

Ob ein hochgradiger Hypermetrope beim Ophthalmoscopiren accommodirt, ist bis jetzt nicht mit Sicherheit eruirt worden, es scheint jedoch, dass dies ebensowenig wie bei hochgradiger M der Fall ist.

Ist ein negatives Correctionsglas nothwendig, um deutlich zu sehen, so wird in allen jenen Fällen, in welchen der Beobachter von sich erfahren hat, dass er beim Augenspiegeln einen gewissen Grad von Accommodation verwendet, von dem Brechwerthe des verwendeten Correctionsglases die Stärke der erfahrungsgemäss verwendeten Accommodation subtrahirt werden müssen, um die Refraction des beobachteten Auges zu erfahren.

Aber auch in jenen Fällen, bei welchen mit Convexgläsern am deutlichsten gesehen wird, ist die erfahrungsgemäss verwendete Accommodation derart mit in Rechnung zu ziehen, dass sie bei Berechnung der Refraction des beobachteten Auges zu der Brechkraft des verwendeten Convexglases hinzuaddirt wird.

§ 42. Handelt es sich um die Bestimmung des Astigmatismus durch die Untersuchung im aufrechten Bilde, so muss daran erinnert werden, dass ein solches Auge nach verschiedenen Richtungen verschiedene Refractionen hat, und dass es desshalb weder mit freiem Auge, noch mit welchem sphärischen Correctionsglase immer den ganzen Augengrund gleichzeitig deutlich wahrzunehmen möglich ist.

Es ist klar, dass der Beobachter, wenn er sich für den stärkst brechenden Meridian des astigmatischen Auges corrigirt hat, die Linien in dem auf ersteren senkrechten schwächsten Meridiane deutlich sehen wird und umgekehrt. Es wird demnach z. B. aus dem Deutlichwerden horizontaler Linien bei Verschwommenbleiben der verticalen der Schluss gezogen werden müssen, dass die nach den früher gegebenen Regeln gefundene Refraction dem verticalen Meridiane zukomme und in dem Falle, als verticale Linien deutlich erscheinen, auf die Refraction des horizontalen Meridians geschlossen werden dürfe.

Da wir bei der Untersuchung im aufrechten Bilde nur Loupenbilder wahrnehmen, welche entweder dadurch entstehen, dass das Object im Brennpunkte resp. innerhalb der Brennweite sich befindet, oder dadurch, dass die ausserhalb des hinteren Brennpunktes gelegene Netzhaut durch ein entsprechendes Correctionsglas innerhalb der nunmehr verlängerten Brennweite hineinrückt, so ist es klar, dass sich die scheinbare Vergrösserung, welche die Medien des Auges vom Augengrunde hervorrufen, nach dem Brechwerthe der ersteren verändern werde.

Es wird desshalb der stärkst brechende Meridian die scheinbar grösste, der schwächst brechende die scheinbar geringste Vergrösserung hervorrufen.

Wir werden demnach eine kreisrunde Fläche, wie die des Sehnerven, in der Richtung des stärksten Meridians zu einem Oval ausgezogen sehen und dürfen aus der Combination dieses Umstandes mit jenem, dass verticale und horizontale Linien abwechselnd und mit verschiedenen Correctionen deutlich gesehen werden, nicht nur den Schluss ziehen, dass es sich um Astigmatismus und zwar von bestimmter Art und gewissem Grade handelt, sondern dass die Richtung des stärksten und schwächsten Meridians ebenfalls gegeben sei.

Hiebei darf aber nicht vergessen werden, dass der Umfang des Sehnervenquerschnittes in Wirklichkeit nicht immer einen Kreis, sondern zuweilen ein Oval bildet, so dass es einerseits möglich wäre, dass das anatomische Oval des Nervus opticus durch den Astigmatismus verlängert werde, dass aber andererseits durch einen Astigmatismus mit umgekehrter Axenrichtung aus dem präexistenten Oval durch diese optische Bedingung ein Kreis formirt werden könnte.

Aus alledem ersehen wir, dass nicht aus der Form des Sehnerven allein, wie er sich im aufrechten Bilde präsentirt, eine Diagnose auf Astigmatismus gestellt werden darf, sondern dass dies nur gestattet ist, wenn die früher erwähnten anderweitigen Symptome dieser Anomalie vorhanden sind, oder aber aus einem Vergleich der Form des Sehnervenquerschnittes im aufrechten und umgekehrten Bilde (siehe oben).

Wie schon früher (pag. 61) erwähnt, ist unter den Formen des hypermetropischen Astigmatismus der einfache aufrechte die gewöhnlichste. Ist desshalb der Beobachter auf Emmetropie corrigirt, so werden die horizontalen streichenden Linien des Augengrundes am klarsten, die rein verticalen am undeutlichsten erscheinen. Dagegen wird, wenn der Beobachter aus seiner Correction den Schluss auf einen bestimmten Grad von H ziehen muss, welcher demnach die Ametropie des horizontalen Meridians aufhebt, alles am Augengrunde vertical Verlaufende klar, alles Horizontale undeutlich wahrgenommen werden.

Nach dem früher „über die Refractionsbestimmung der nicht astigmatischen Augen“ Gesagten können wir die weitere Ausführung der Bestimmung des Grades des Astigmatismus entbehren und voraussetzen, dass der Leser die weiteren Details selbst combiniren könne.

§ 43. Auch bei der Untersuchung im umgekehrten Bilde können wir uns von dem Refractionszustande der Untersuchten eine Vorstellung machen, jedoch kann diese niemals genau, zuweilen aber allerdings eine genügende sein.

Untersuchen wir mit einer Convexlinse, so wird im Falle, als das untersuchte Auge emmetropisch ist, das umgekehrte Bild in der Brennebene derselben, bei Myopie des ersteren zwischen Brennpunkt und Linse, bei Hypermetropie vor dem Brennpunkte derselben (vom Beobachter aus gerechnet) entworfen werden. Es ist desshalb selbstverständlich, dass sich der Beobachter bei Myopie der Objectivlinse mehr nähern, bei Hypermetropie von derselben entfernen muss, als dies bei Emmetropie des beobachteten Auges nothwendig ist. Aus diesem Umstande kann also auf die Gegenwart von E, M oder H, geschlossen werden.

Ein weiterer Behelf für die Beurtheilung der Refraction liegt in der verschiedenen scheinbaren Grösse des von den Medien des Auges und der Linse als combinirtes optisches System entworfenen Bildes des

Augengrundes, da dieses System bei H, als ein schwächerbrechendes grössere, bei M, als ein stärkerbrechendes kleinere Bilder liefert als bei E.

Bedient man sich keines Convexglases um ein umgekehrtes reelles Bild zu erhalten, sondern beurtheilt die Brechkraft des Auges aus der Entfernung, in welcher das von den Augenmedien allein entworfene Luftbild vor dem Knotenpunkte des beobachteten Auges liegt, was nur bei höhergradiger Myopie möglich ist, so liefert diese Beurtheilung ein viel genaueres Resultat, namentlich wenn der Beobachter selbst in höherem Grade myopisch ist.

Es braucht in dem letzteren Falle, nämlich von der Distanz der beiderseitigen Knotenpunkte, bei welcher der Beobachter die Details des beobachteten Augengrundes am schärfsten sieht, nur die Entfernung abgezogen zu werden, in welcher der Fernpunkt des Beobachters von seinem eigenen Knotenpunkte abliegt, um den Fernpunkt des beobachteten Auges zu eruiren.

Wäre z. B. die erwähnte Distanz = 10″ und die Myopie des Beobachters $^1/_4$, so läge der Fernpunkt des myopischen Auges 10 — 4 = 6″ vor seinem Knotenpunkte, und die Myopie wäre daher $^1/_6$.

Ist aber der Beobachter emmetropisch, hypermetropisch oder schwach myopisch, so muss er ein stärkeres Convexglas vor sein Auge legen, um die Myopie des beobachteten Auges zu beurtheilen.

Im Falle der Beobachter emmetropisch ist, genügt eine Linse von 8″ Brennweite (5 Dioptrien), um diesen Zweck zu erreichen. Bei der Betrachtung des reellen in der Luft liegenden Bildes entfällt für den Beobachter jede Veranlassung, seine Accommodation in unzweckmässiger Weisse anzuspannen, wie dies beim Untersuchen im aufrechten Bilde der Fall ist. Der Emmetrope wird desshalb, wenn er sich mit einem Convexglase von 8″ Brennweite bewaffnet, ein Object, welches im Brennpunkte der Linse sich befindet, deutlich wahrnehmen und er braucht desshalb sich in einer Entfernung von 8$^1/_2$″ (weil das Convexglas $^1/_2$″ vor seinem Knotenpunkte sitzt) von dem Luftbilde zu befinden, um dasselbe deutlich wahrzunehmen.

Trifft letztere Voraussetzung zu, so muss von der Distanz der beiderseitigen Knotenpunkte 8$^1/_2$ abgezogen werden, um den Fernpunkt des beobachteten Auges in Zollen ausdrücken zu können. Beträgt z. B. die Distanz 14$^1/_2$″, so liegt jener Fernpunkt in 14$^1/_2$ — 8$^1/_2$ = 6″ vor dem Knotenpunkte des myopischen Auges.

Der hypermetropische Beobachter wird, wenn er sich mit derselben Linse bewaffnet, ein Object in eine etwas grössere Entfernung bringen müssen, um deutlich zu sehen, ohne zu accommodiren, und diese Entfernung hängt von dem Grade seiner manifesten Hypermetropie ab. Wäre diese z. B. $^1/_{24}$, so müsste das Object von der Convexlinse 12″ abstehen, weil $^1/_8$ weniger $^1/_{24}$ = $^1/_{12}$.

Würde desshalb in einem solchen Falle die Distanz zwischen beiden Knotenpunkten 18$^1/_2$″ betragen, so würde der Fernpunkt des beobachteten Auges in 18$^1/_2$ — 12$^1/_2$ = 6″ betragen.

Ein schwach myopischer Beobachter würde, wenn er sich gleichfalls mit einer Convexlinse von 8″ bewaffnen wollte, ein Object innerhalb der Brennweite derselben bringen müssen. Hätte er z. B. M $\frac{1}{24}$,

so muss das Object $\left(\frac{1}{8} + \frac{1}{24} = \frac{1}{6}\right)$ 6″ vor der Linse gebracht werden, damit er deutlich sehe. Wäre in einem solchen Falle die Distanz der beiden Knotenpunkte gleich $12\frac{1}{2}$″, so wäre wieder die Myopie des beobachteten Auges $\frac{1}{6}$, weil $12\frac{1}{2} - 6\frac{1}{2} = 6$ ist.

§ 44. In neuerer Zeit hat Schmidt-Rimpler das umgekehrte Bild in eigenartiger Weise zur Bestimmung der Refraction verwendet.

Der Schatten eines zarten Drahtgitters oder einer Sternfigur, welche in eine Oeffnung eines Pappschirmes eingelassen ist, der sich unmittelbar vor der Flamme einer zum Ophthalmoscopiren verwendeten Lampe befindet, wird durch einen concaven Reflector und eine Objectivlinse ins Innere des Auges geleitet und auf der Netzhaut zu einem Bilde vereinigt. Je nach der Refraction des Auges werden die von dem Schattenbilde auf der Netzhaut ausgehenden Strahlen entweder durch die Convexlinse in dem Raume zwischen dieser und dem Concavspiegel zu einem Bilde vereinigt oder aber dieses letztere geschieht in dem Zwischenraume zwischen Auge und Linse. Es ist desshalb selbstverständlich, dass der Beobachter sich von der Linse etwas entfernen oder sich ihr nähern muss, damit er das Schattenbild deutlich wahrnehmen könne.

Das aus dem Auge zurückkehrende Bild des Schattens kann nur dann scharf begrenzt sein, wenn dasselbe mit dem vom Spiegel entworfenen umgekehrten Bilde des Gitters in einem Orte zusammen fällt oder, was dasselbe ist, wenn letzteres und ersteres conjugirte Vereinigungspunkte sind.

Schmidt-Rimpler misst desshalb die Entfernung eines Concavspiegels von 8″ Brennweite von der Objectivlinse von 4″ Brennweite, welche 4″ vor dem Knotenpunkte des Auges sich befindet, zieht von dieser Entfernung die durch einen vorhergehenden Versuch eruirte Vereinigungsweite des vom Spiegel entworfenen Schattenbildes ab und nennt den Rest derselben B, welcher positiv ist, wenn die Vereinigungsweite kleiner ist als die Distanz zwischen Spiegel und Linse, negativ, wenn das Umgekehrte der Fall ist. Wenn er nun die Distanz zwischen Fernpunkt des Auges und der Linse A nennt, so erfährt er diese Grösse aus der Gleichung $\frac{1}{F} = \frac{1}{B} + \frac{1}{A}$ (B ist hiebei Bilddistanz $[f_{,,}]$, A Objectsdistanz $[f_{,}]$ und F Brennweite der Linse = 4″). Ist nun A bekannt, so braucht nur die Entfernung zwischen Knotenpunkt des Auges und Linse = 4″ addirt oder, wenn A negativ ist, von dieser abgezogen zu werden, um den Fernpunkt des Auges und damit die Refraction in Erfahrung zu bringen.

Um dies alles auszuführen, hat Schmidt-Rimpler einen kleinen Apparat construirt, der aus einer Messingstange von 4″ Länge mit Maasseintheilung besteht, welche an ihrem vorderen Ende einen verschiebbaren Ring zur Aufnahme der Convexlinse und an ihrem dem Auge zugewendeten Ende eine Platte trägt, welche an den unteren Orbitalrand angestemmt wird. Unter dem vorderen Ende trägt die Stange eine Hülse mit einem Bandmaasse, welches durch Druck auf einen Knopf herausgezogen und beim Nachlassen arretirt werden kann.

Ausserdem ist an diesem Ende der Stange eine kleine schwarze, dem Beobachter zugekehrte Scheibe angebracht.

Vor jeder Refractionsbestimmung wird der Stiel des Spiegels durch einen Ring am freien Ende des Bandmaasses gesteckt, das Bild des Gitters auf der schwarzen Scheibe entworfen und dessen Entfernung vom Spiegel gemessen, welche je nach der Entfernung der Lampe verschieden ausfällt. Hierauf wird die Linse $3^3/_4''$ vom Auge verschoben, wodurch sie vom Knotenpunkte $4''$ entfernt ist. Hat man diese Entfernung hergestellt, so wird durch Nähern und Entfernen des fest am Auge gehaltenen Spiegels die Distanz dieses letzteren von der Linse eruirt, bei welcher ein scharfes Bild des Gitters auf der Netzhaut gesehen wird. Nunmehr hat man alle erforderlichen Maasse zur Refractionsbestimmung.

Einige Beispiele mögen den Vorgang erläutern. Hat der Versuch eine Vereinigungsweite des vom Spiegel entworfenen Gitterbildes von $9''$ ergeben, und ist bei einer Entfernung zwischen Spiegel und Linse von $13''$ das Netzhautbild des Gitters am schärfsten gesehen worden, dann ist

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{B} + \frac{1}{A}$$

$$\frac{1}{4} = \frac{1}{4} + \frac{1}{A} \text{ oder } \frac{1}{A} = 0.$$



A also ∞, d. i. das Auge ist emmetropisch.

Bei einem anderen Falle ist die Vereinigungsweite wieder $9''$ vom Spiegel gefunden worden. Die Entfernung der Linse vom Spiegel gäbe eine Länge von $14''$, B ist daher $= 5''$, d. i. das von der Netzhaut reflectirte Bild des Gitters bildet sich vor dem Brennpunkt der Linse, also zwischen diesem und dem Spiegel ab; das beobachtete Auge ist also hypermetropisch. Nun ist $\frac{1}{A} = \frac{1}{4} - \frac{1}{5} = \frac{1}{20}$, und da die Entfernung der Linse vom Knotenpunkte des Auges $= 4''$ beträgt, und wir es hier mit einem hypermetropischen Auge zu thun haben, so liegt der Fernpunkt dieses Auges $20 - 4 = 16''$ hinter seinem Knotenpunkte, H also $^1/_{16}$.

Wäre ferner bei einem dritten Auge die Vereinigungsweite des Gitterbildes von $9''$ wieder vorausgesetzt, die Entfernung des Spiegels von der Linse $= 7''$, so das $B = -2''$, so ist $\frac{1}{A} = \frac{1}{4} + \frac{1}{2} = \frac{3}{4}$ und $A = \frac{4}{3}$. Da dieses Auge myopisch ist, indem sein Fernpunkt zwischen diesem und der Linse liegt, so ist A auch negativ und gibt zur Entfernung von Linse und Auge $= 4''$ addirt:

$$4 - \frac{4}{5} = 2^2/_3, \text{ also eine Myopie } \frac{1}{2^2/_3}.$$

Dieser Bestimmungsmethode haften mehrere Fehler an. Die wichtigsten von ihnen sind: erstens, das Reflexbild des Gitterschattens entsteht an der Faserschichte der Netzhaut und es wird somit die Einstellung dieser Schichte und nicht die des lichtempfindenden Stratums bestimmt; zweitens, der Erfinder gibt selbst an, dass man weder an der Macula, noch am Nervus opticus messen soll, da im ersten Falle

die Pupille sich zu sehr contrahirt und im zweiten Falle wegen der Unebenheit des Sehnervenquerschnittes das Schattenbild nicht in ein und dieselbe Ebene fällt.

Es muss demnach eine mehr peripher gelegene Netzhautstelle gemessen werden, und diese dürfte denn doch nicht immer dieselbe Refraction haben, wie die Macula lutea.

Endlich muss drittens einmal die Vereinigungsweite des Gitterbildes und dann die des Netzhautbildes gemessen werden, und beide Bestimmungen beruhen auf der Schärfe der Wahrnehmung. Die Fehlerquelle ist demnach doppelt so gross wie bei der Untersuchung im aufrechten Bilde.

Trotzdem behauptet der Erfinder dieser Methode, dass dieselbe an Genauigkeit der Untersuchung im aufrechten Bilde durchaus nicht nachsteht, indem er angibt, je eine Reihe von Fällen im aufrechten und umgekehrten Bilde untersucht zu haben, wobei er zu folgenden Resultaten gelangte.

Es ergaben sich Fehler

von 0—0·5	D.	im	aufrechten	Bilde	71 %
„ 0—0·5	„	„	umgekehrten	„	73 %
„ 0·5—1	„	„	aufrechten	„	c. $14\frac{2}{3}$ %
„ 0·5—1	„	„	umgekehrten	„	c. 16 %
über 1·0	„	„	aufrechten	„	c. $14\frac{2}{3}$ %
„ 1·0	„	„	umgekehrten	„	11 %

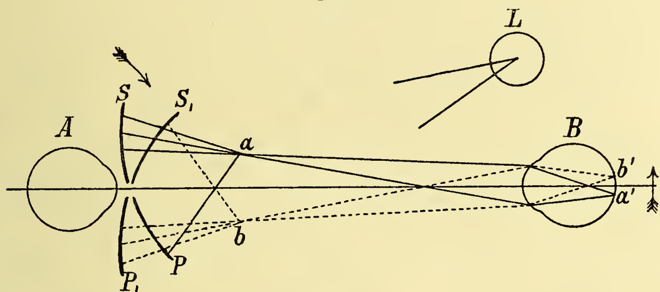
Er führt ferner für seine Untersuchungsmethode die Thatsache an, dass bei derselben die Accommodation des Beobachters weder unzweckmässig verwendet, noch überhaupt in Betracht zu kommen braucht, wodurch eine sehr wichtige Fehlerquelle bei der Untersuchung im aufrechten Bilde eliminirt wird.

§ 45. Eine weitere Art der Refractionsbestimmung, welche sich der mit dem Augenspiegel direct anreiht, ist die von Cuignet erfundene Methode, welche unter dem Namen Keratoscopie, Retinoscopie oder Skiascopie bekannt ist. Sie hat den Vorzug vor der ophthalmoscopischen Untersuchung im aufrechten Bilde, dass die Accommodation des Beobachters dabei gar nicht in Betracht kommt, und es auch dem ungeübten Ophthalmoscopiker möglich und leicht wird, eine Diagnose über die Art und Stärke der Refraction zu stellen.

Gegenüber der Methode von Schmidt-Rimpler besitzt die Retinoscopie den Vorzug, dass man einen eigenen Apparat zur Refractionsbestimmung erspart, weil erstere mit jedem Reflector auszuführen ist. Die Retinoscopie besteht darin, dass die Bewegungen eines (am besten) von einem Concavspiegel in das Auge reflectirten Zerstreuungsbildes einer Lichtflamme bei leichten Drehungen des Spiegels beobachtet werden. Ist in Fig. 32 S P ein Concavspiegel von kurzer Brennweite, welcher in einer beim Ophthalmoscopiren gewöhnlichen schiefen Stellung sich befindet, so sei sein Brennpunkt in a, in welchem alle von dem Concavspiegel reflectirten Strahlen sich vereinigen. Einige von den letzteren dringen nach der Ueberkreuzung in das beobachtete Auge B und vereinigen sich auf dessen Netzhaut in a,. Wird nun der Spiegel in der Richtung des Pfeiles in die Stellung S,P, durch Drehung um seine verticale Axe gebracht, so liegt der Brennpunkt in C, und die von diesem ausgehenden überkreuzten, ins beobachtete Auge

dringenden Strahlen vereinigen sich in $C_{,}$. Das Flammenbildchen auf der Netzhaut ist hierbei also in der Ebene der Zeichnung von unten nach oben gewandert, während der Spiegel von oben nach unten gedreht worden ist. Man kann aber auch das Flammenbild in derselben Richtung, wie der Spiegel gedreht worden ist, wandern sehen, wenn von den Medien des Auges ein umgekehrtes Bild des Netzhautbildchens in dem Raume zwischen beiden Augen entworfen wird und von dem Beobachter vermöge seiner Accommodation gesehen werden kann. Es

Fig. 32.



sind dies myopische Augen, welche ein reelles, umgekehrtes Bild in der Luft entwerfen. So wie das Flammenbild auf der Netzhaut wandert, müssen die früher beleuchteten Stellen in den Schatten treten, und dieser Schatten muss der Bewegung des Lichtbildes folgen. Aus der Seite, an welcher dieser Schatten bei den Spiegeldrehungen erscheint, aus der Art seiner Wanderung und aus seiner Begrenzung lassen sich Schlüsse nach der Art und Stärke der Refraction machen.

Bei der Retinoscopie geht man derartig vor, dass man in einem gut verdunkelten Zimmer einen grösseren Reflector von 20 cm (8″ Brennweite) benutzt, um mittelst desselben das Licht einer guten Leuchtquelle, gegen welche das zu untersuchende Auge durch einen dichten Schirm geschützt ist, in einer Entfernung von etwa 120 cm in das letztere zu werfen. Es ist vortheilhaft, dabei die Pupille künstlich zu erweitern, wenn sie nicht bei leichter Wendung des Auges nasenwärts weit genug ist. Drehen wir nun den Spiegel, so wird der Schatten auf der Seite, nach welcher gedreht worden ist, erscheinen und nach der entgegengesetzten wandern bei Emmetropie, Hypermetropie und schwacher Myopie, kleiner als 1 Dioptrie; bei letzterer desshalb, weil das umgekehrte Bild als solches von dem Beobachter nicht wahrgenommen wird. Bei Myopie von 1 Dioptrie oder höheren Grades wird der Schatten auf der der Drehung entgegengesetzten Seite erscheinen und in gleichem Sinne mit der Drehung wandern. Ausser der Lage das Schattens gibt es noch mehrere Momente, aus welchen ein Schluss auf die Refraction gezogen werden kann. So ist bei Emmetropie und bei schwacher Ametropie die Begrenzung des Schattens scharf, die Beleuchtung im übrigen Theile der Pupille sehr hell, bei höhergradiger Ametropie der Schatten verschwommen, die Helligkeit eine geringere. Ebenso ist die Bewegung des Schattens bei Emmetropie oder bei schwacher Ametropie eine rasche, bei höheren Graden derselben eine verlangsamte. Endlich ist die Abgrenzung des Schattens gegen die helle Stelle bei Emmetropie und den

schwachen Graden von Ametropie geradlinig, bei höheren Graden der letzteren bogenförmig. Aber nicht nur ungefähr, sondern auch bis auf etwa eine halbe Dioptrie genau lässt sich die Refraction mit dieser Methode bestimmen.

Bekanntlich kann man durch Vorlegen von Convex- oder Concavgläsern den Brechwerth des Auges derartig verändern, dass durch erstere derselbe stärker, durch letztere schwächer wird. Es setzt z. B. ein Emmetrope Convexgläser auf, so wird aus seiner Emmetropie eine Myopie, setzt er aber Concavgläser vor sein Auge, so verhält er sich wie eine Hypermetrope. Diese bekannten Thatsachen werden benutzt, um bei der Retinoscopie die Refraction genauer zu bestimmen. Hiebei geht man folgendermaassen vor. Hat der Versuch ergeben, dass der Schatten in entgegengesetzter Richtung sich bewegt, so ist zu entscheiden, ob E, H oder M kleiner als 1 D vorliegt. Man legt nun + 0·5 D vor das Auge. Bewegt sich auch jetzt noch der Schatten in umgekehrter Richtung, dann ist keine Myopie vorhanden oder höchstens eine solche, die geringer als ½ D. Um nun zu entscheiden, ob es sich um E oder H handelt, so setzt man dem Auge + 1 D vor. Bewegt sich der Schatten in gleichem Sinne mit der Drehung des Spiegels, so ist das beobachtete Auge emmetropisch und die Veränderung in der Wanderung des Spiegelbildes nur durch das Convexglas hervorgerufen worden. Hat sich aber auch bei Vorlegen von + 1 D noch immer eine entgegengesetzte Richtung der Schattenbewegung gezeigt, dann ist H vorhanden, deren Grad man bestimmt, wenn man immer stärkere Convexgläser so lange vorlegt, bis der Schatten in gleichem Sinne mit der Spiegelbewegung sich bewegt. Das nächstfrühere Glas, bei welchem dies noch nicht der Fall war, gibt den Grad der H an. Bewegt sich der Schatten aber gleich von vorne herein in gleichem Sinne mit dem Spiegel, so ist M > 1 D vorhanden und man erfährt den Grad derselben durch Vorlegen immer stärkerer Concavgläser, bis der Schatten in umgekehrter Richtung wandert. Das letzte Glas, bei welchem dies nicht der Fall war, gibt den Grad der M an.

Statt in 120 cm kann man auch die Untersuchung in 70 cm Entfernung vornehmen, nur muss dabei bedacht werden, dass erst bei einer Myopie von mehr als 2 Dioptrien ein gleichgesinntes Wandern des Schattens mit der Spiegelbewegung eintreten könne. Auch die Art und der Grad von vorhandenem regulären Astigmatismus kann durch die Retinoscopie erkannt werden. Der Zerstreuungskreis der Lichtflamme auf der Netzhaut nimmt hiebei die Form eines Ovales an, dessen lange Axe selbstverständlich dem stärkstbrechenden Meridiane angehört. Ist der Reflex ein aufrechter, was bei E, H und M < 1 D (in beiden Meridianen in verschiedenen Graden) der Fall ist, dann wandert der Schatten ebenso in umgekehrter Richtung, wie bei nicht zusammengesetzter Refraction. Hat aber einer der Meridiane M > 1 D, so erscheint das Zerstreuungsbild in der dem stärkstbrechenden Meridiane entsprechenden Richtung verkürzt, in der darauf senkrechten ausgezogen. Besteht in letzterer Richtung E, H oder M < 1 D, so wird bei Bewegungen des Spiegels im selben Sinne eine umgekehrte Richtung der Schattenbewegung vorhanden sein, während in der darauf senkrechten der Schatten sich mit dem Spiegel in gleichem Sinne bewegt. Durch Correction der Refractionsanomalie der Meridiane in demselben Sinne, wie wir dies früher

bei einfacher Ametropie erfahren haben, kann auch die Stärke der Ametropie in den einzelnen Meridianen beurtheilt werden. — Wird statt eines Concavspiegels ein Planspiegel verwendet, so werden die Verhältnisse der Schattenbewegung sich umkehren, weil die vom Spiegel reflectirten Strahlen nicht wie beim Concavspiegel convergiren, um sich zu überkreuzen, sondern direct vom Spiegel aus divergent ausgehen.

§ 46. Die Vergleichung des aufrechten Bildes mit dem umgekehrten gibt eine sichere und rasch auszuführende Methode ab, um den von der Cornea abhängigen Astigmatismus zu entdecken.

Im aufrechten Bilde, wo wir den Augengrund gleichsam unter einer Loupe betrachten, gibt ein vermehrter Brechzustand auch grössere Bilder. Bei der Untersuchung im umgekehrten Bilde gilt das umgekehrte Gesetz: je stärker das brechende Medium, desto kleiner ist — ceteris paribus — das reelle Bild.

Es wird desshalb beim Astigmatismus im aufrechten Bilde der Augengrund in der Richtung des stärkst brechenden Meridians stärker als in den anderen vergrössert erscheinen, während im umgekehrten Bilde diese Vergrösserung dem schwächst brechenden Meridiane zukommt.

Handelt es sich z. B. um einen Fall, bei welchem der stärkst brechende Meridian der verticale ist, so wird die anatomisch runde Papille im aufrechten Bilde in verticaler Richtung zu einem Oval ausgezogen erscheinen. Im umgekehrten wird daher nach dem Gesagten dieselbe Papille die Form eines liegenden Ovales erhalten.

Es muss jedoch hier darauf aufmerksam gemacht werden, dass, wenn die Objectivlinse während der Untersuchung um ihre von rechts nach links streichende horizontale Axe gedreht wird, auch ohne die Gegenwart von Astigmatismus die wirklich runde Papille quer-oval erscheinen kann. Der Grund für diese Thatsache ist darin gelegen, dass bei einer solchen Stellung der Convexlinse die aus dem Auge im verticalen Meridiane austretenden Strahlen schief durch erstere hindurchtreten und dadurch eine stärkere Brechung erleiden, als die horizontal die Linse passirenden.

Es ist selbstverständlich, dass die Form der Papille in horizontaler Richtung verkürzt erscheinen muss, wenn die Objectivlinse um eine verticale Axe gedreht wird.

Um sich also vor Täuschungen zu bewahren, muss die Objectivlinse vertical auf die optische Axe vor dem Auge gehalten werden.

Es ist klar, dass, wenn Astigmatismus zugegen ist, eine anatomisch veränderte Form der Papille einen grossen Einfluss auf die scheinbaren Formveränderungen in den ophthalmoscopischen Bildern haben müsse.

So wird beim aufrechten Astigmatismus eine de natura längsovale Papille im aufrechten Bilde noch stärker längs-oval, im umgekehrten vielleicht rund erscheinen, und ebenso kann ein in Wirklichkeit quer-ovaler Sehnerv im aufrechten Bilde rund, im umgekehrten als ein stärker quer-ovaler imponiren. Schief-ovale Formen des Sehnervenquerschnittes werden sich in entsprechender und entgegengesetzter Weise im aufrechten und umgekehrten Bilde verändern.

Jedenfalls sind diese Veränderungen in der Form des am Augengrunde Wahrgenommenen, auf welche Schirmer zuerst aufmerksam gemacht hat, so prägnant und leicht zu beobachten, dass sie für eine

rasche Bestimmung des Vorhandenseins von Astigmatismus sehr werthvoll erscheinen müssen.

§ 47. Sowohl im aufrechten als im umgekehrten Bilde lassen sich Niveaudifferenzen am Augengrunde feststellen und nach der ersteren Methode sogar genau messen.

Ebenso wie wir die Refraction eines Punktes am Augengrunde oder im Glaskörper mittelst der Untersuchung im aufrechten Bilde messen, und aus dieser und den uns bekannten Constanten des Auges die Lage dieses Punktes berechnen können, ebenso muss es uns gelingen, die Tiefendimensionen eines Objectes am Augengrunde absolut und relativ zu anderen Objecten zu bestimmen.

Bei dieser Bestimmung müssen wir uns der Formel c) aus der Einleitung erinnern:

$$l_{,} l_{,,} = F_{,} F_{,,}$$

Hätten wir z. B. die Tiefe einer Aushöhlung des Sehnerven nach dem Längenmaasse zu bestimmen, so müssen wir vorher die Refraction des Randes dieser Aushöhlung und diejenige ihres Grundes feststellen. Angenommen, die Untersuchung ergäbe als Refraction des Randes der Excavation Emmetropie und in der Tiefe der Aushöhlung M $^{1}/_{13}$ ($3^{1}/_{10}$ D).

Der Fernpunkt eines myopischen Auges von M $3^{1}/_{10}$ D liegt ungefähr 320 mm vor dem Knotenpunkte des Auges.

Um $l_{,}$ (die Distanz zwischen Object und vorderem Brennpunkte) zu erfahren, müssen wir von jener Zahl $G_{,}$, d. i. die Distanz zwischen Knotenpunkt und vorderem Brennpunkte abziehen. Diese Distanz beträgt im schematischen Auge 20 mm, wesshalb $l_{,} = 300$ mm ist. Setzen wir diesen Werth in die frühere Gleichung, so haben wir:

$$l_{,,} = \frac{F_{,} F_{,,}}{l_{,}},$$

und, da $F_{,} = 15$ mm und $F_{,,} = 20$ mm ist, $l_{,,} = 1$ mm.

Wir erfahren hieraus, dass die Tiefe der Excavation 1 mm beträgt.

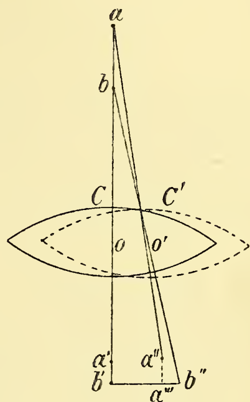
Solche Untersuchungen sind derart anzustellen, dass im Beginne derselben die Lage des am meisten nach vorn gelegenen Punktes gesucht wird, wobei die tiefer nach hinten gelegenen undeutlich erscheinen müssen. Denn fängt man damit an, die am weitesten von den brechenden Flächen entfernten Punkte sich klar zu machen, so kann es geschehen, dass der emmetropische, hypermetropische oder schwach myopische Beobachter auch die weiter nach vorne liegenden Punkte deutlich wahrnimmt, ohne das Correctionsglas zu verändern, weil solche Personen bei intacter Accommodation durch Bethätigung derselben die von jenen näher liegenden Punkten herrührenden divergenten Strahlen auf der Netzhaut zu vereinigen imstande sind. Da wir aber für die verwendete Accommodation keine richtige Schätzung besitzen, so können wir auch nicht aus ihr die Lage jener näher liegenden Punkte berechnen.

Wird diese Vorsicht ausser Acht gelassen, so kann es geschehen, wie es den Augenärzten, die sich zuerst mit dem Ophthalmoscop beschäftigten, in Wirklichkeit geschehen ist, dass eine Aushöhlung des Sehnerven, wie die glaucomatöse für eine Vorbauchung gehalten wird, denn das, was man „Accommodationsgefühl“ nennt, ist nicht so scharf, um eine geringe Anspannung der Accommodation von einer geringen Entspanung zu unterscheiden.

Im umgekehrten Bilde erkennen wir die Tiefenlage eines Objectes im Vergleich mit einem anderen am Augengrunde durch die sogenannte parallactische Verschiebung.

Die hinter einander liegenden Punkte des Augengrundes entwerfen mit Hilfe der Objectivlinse ihr Bild nicht in eine Ebene, sondern in mehrere hinter einander liegende. Wird die Linse ruhig gehalten, so werden alle diese Punkte über einander in eine Ebene projicirt, so dass das umgekehrte Bild wie ein flaches erscheint. Bewegt man aber die Convexlinse in einer auf die Augenaxe senkrechten Ebene, so bewegen sich die weiter nach vorn liegenden Punkte des Augengrundes rascher als die weiter hinten liegenden und zwar in derselben Richtung wie die Linse. Dadurch entsteht eine Verschiebung der Objecte gegen einander, welche um so stärker ist, je weiter dieselben von einander entfernt sind.

Fig. 33.



Dies ist aus beifolgender Fig. 33 leicht zu ersehen. Sind a und b zwei hinter einander liegende Punkte des Augengrundes, l die Linse, o deren Centrum, so werden $a_{,}$ und $b_{,}$ die Bilder von a und b darstellen, wobei $b_{,}$ den Punkt $a_{,}$ deckt. Bringen wir nun die Linse in die zweite Stellung $C_{,}$, so wird a in $a_{,,}$ und b in $b_{,,}$ abgebildet werden. Ziehen wir von $a_{,,}$ eine Normale nach $a_{,,,}$, so ist es klar, dass sich das Bild von b rascher bewegt, als das von a, indem ersteres von $b_{,}$ nach $b_{,,}$, letzteres aber aus $b_{,}$ nur nach $a_{,,,}$ verschoben erscheint.

Eine weitere Methode, die Tiefenlage des Objectes am Augengrunde zur Darstellung zu bringen, wurde durch den binoculären Augenspiegel von Girault-Teulon gefunden.

Die Vorstellung von der Tiefendimension eines Körpers wird nicht allein durch die Empfindung der aufgewendeten Convergenz, sondern auch dadurch vermittelt, dass das Object von den beiden Augen gleichsam von zwei verschiedenen Punkten aus betrachtet und desshalb auch auf den Netzhäuten der beiden Augen etwas von einander differirende Bilder entworfen werden. Sollte ein Auge die Rolle beider übernehmen, so muss es sich aus seiner Lage in jene, in welcher sich das zweite Auge befindet, verschieben, um hinter einander dieselben Empfindungen zu erhalten, welche beim binoculären Sehen beide Augen gleichzeitig empfangen. Werden diese natürlichen Verhältnisse durch eine bildliche Darstellung in solcher Weise nachgeahmt, dass jedem Auge eine um einen kleinen Winkel von einander differirende Ansicht eines Körpers dargeboten wird, so vereinigen sich die beiden Bilder zu der Vorstellung des Körperlichen, und nennen wir diese Betrachtungsweise: Stereoskopie.

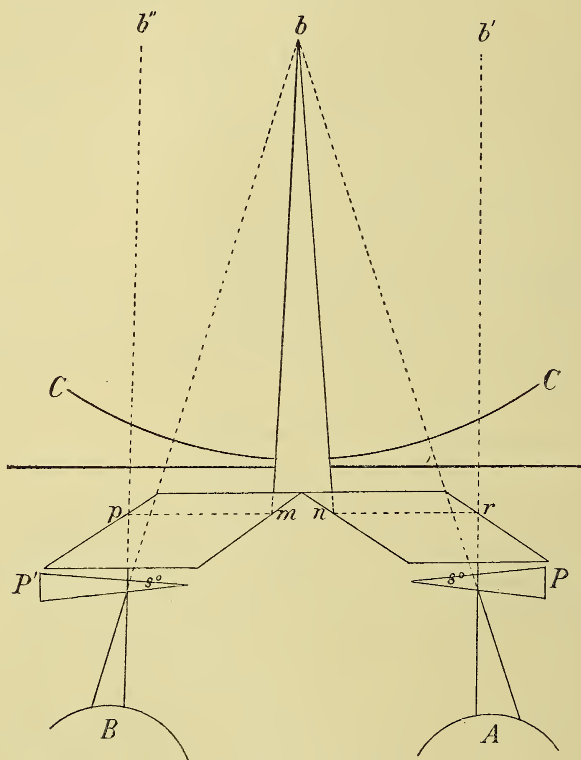
Wird durch eine Objectivlinse ein reelles umgekehrtes Bild des Augengrundes entworfen, so kann dieses durch die sinnreiche Einrichtung des binoculären Augenspiegels von zwei verschiedenen Seiten betrachtet und desshalb auch stereoskopisch gesehen werden.

Es stelle Fig. 34 den binoculären Augenspiegel dar. C C sei der Durchschnitt des concaven Beleuchtungsspiegels, der in seiner Mitte

einen $3\frac{1}{2}'''$ langen horizontalen Spalt zum Hindurchsehen hat, hinter dessen Mitte zwei Glas-Rhomboeder mit ihren scharfen Kanten von 45^0 zusammen stossen. Das von dem umgekehrten Bilde b ausgehende Licht trifft die vordere Fläche der beiden Rhomboeder fast vertical und dringt desshalb kaum gebrochen in dieselben ein.

Bei m und n trifft der Strahl eine schiefe Fläche, wird an derselben total reflectirt nach p und r, wo er wieder total reflectirt wird und nun vertical aus der vorderen Rhomboederfläche heraus- und in die Augen A und B hineintritt, welche demnach das Object b in $b_{,}$ und in $b_{,,}$ also doppelt sehen.

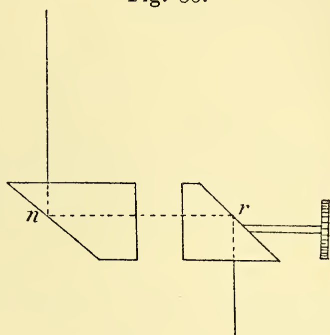
Fig. 34.



Da nun aber das Object in einer Entfernung von 8—10'' vom Beobachter sich befindet, so ist es klar, dass die relative Accommodationsbreite nicht ausreicht, um dem emmetropischen oder hypermetropischen Beobachter bei parallelen Gesichtslinien ein deutliches Bild des Objectes zu verschaffen. Es ist desshalb nothwendig, auf künstlichem Wege eine solche Convergenz der Gesichtslinien herbeizuführen, dass auf 10'' accommodirt und desshalb deutlich gesehen werden kann. Zu diesem Behufe sind hinter den Rhomboedern Prismen P und $P_{,}$ von $7-8^0$ mit dem brechenden Winkel einander zugekehrt angebracht. Nunmehr wird aber das Bild nicht mehr in $b_{,}$ und $b_{,,}$ sondern dort gesehen werden, wo es wirklich ist — in b.

Der so construirte Spiegel passt aber nur für eine bestimmte Pupillen-Distanz. Um ihn für alle möglichen Entfernungen der Pupillen von einander einzurichten, wurde das rechtseitige Rhomboeder vertical auf seine vordere und hintere Fläche durchschnitten und an dem äusseren Theile desselben ein Metallstäbchen angebracht, mittelst dessen dieses in einer Rinne des Instrumentes aus- und eingeschoben werden kann.

Fig. 35.



Es ist klar, dass diese Spaltung des Rhomboeders den Gang der Strahlen nicht verändert, indem diese vertical auf die Durchschnittsflächen in die Luft der Lücke eintreten und von dieser wieder in das Glas ungebrochen fortschreiten. Das Prisma wird mit dem äusseren Theile des Rhomboeders verschoben. (Siehe die nebenstehende Fig. 35.)

§ 48. **Die Berechnung der Vergrösserung durch den Augenspiegel bei der Untersuchung im aufrechten Bilde** ist auf verschiedenen Wegen gesucht und gefunden worden. Es dürfte aber am natürlichsten und zweckmässigsten sein, die Gesetze über die Vergrösserung durch eine Loupe auch auf das Auge anzuwenden, welches bei dieser Untersuchungsmethode so wie eine Loupe wirkt.

Das brechende System des menschlichen Auges ist nach vorne von Luft und nach hinten von einem stärker brechenden Medium umgeben. In Folge dessen ist die zweite Brennweite dieses Systemes grösser als die erste. Hiedurch ist schon ein wesentlicher Unterschied zwischen dem dioptrischen System des Auges und dem einer Glaslinse gegeben, indem bei letzterer, die auf beiden Seiten von demselben Medium, der Luft, begrenzt wird, beide Brennweiten einander gleich sind.

Die Netzhaut des emmetropischen Auges befindet sich im hinteren Brennpunkte, während sie im hypermetropischen Auge innerhalb der hinteren Brennweite des Systemes gelegen ist. Durch diese Lage der Netzhaut werden von derselben virtuelle Bilder entworfen und desshalb sind diese Augen, die Netzhaut als Object betrachtet, als Loupen aufzufassen.

Myopische Augen, die von der Netzhaut reelle, vor dem Auge liegende Bilder entwerfen, können selbstverständlich nicht als Loupen angesehen werden.

Da bei den Berechnungen, die wir über die Loupe angestellt haben, die Objects- und Bilddistanz auf einer und derselben und zwar der vorderen Seite der Linse gelegen waren, so brauchen wir beim Auge nur die zweite Brennweite als erste und die Netzhaut als Object anzunehmen, um auch hier alle nothwendigen Berechnungen durchzuführen.

Die Beziehungen zwischen Object und Bild werden durch die Formel:

$$\frac{F_{,}}{f_{,}} + \frac{F_{,,}}{f_{,,}} = 1$$

ausgedrückt.

In diesem Ausdrucke bedeuten $F_{,}$ und $F_{,,}$ die vordere und hintere Brennweite, $f_{,}$ die Objectsdistanz, $f_{,,}$ die Bilddistanz.

Im emmetropischen Auge steht die Netzhaut, von hinten nach vorne gerechnet, im vorderen Brennpunkte, $f_{,}$ ist demnach $= F_{,}$.

In die Formel substituirt ergibt dies:

$$1 + \frac{F_{,,}}{f_{,,}} = 1,$$

woraus

$$\frac{F_{,,}}{f_{,,}} = 0, \text{ also } f_{,,} = \infty .$$

Das Bild der Netzhaut liegt demnach wie bei der Loupe, wenn ein Object im Brennpunkt sich befindet, in unendlicher Ferne.

Im hypermetropischen Auge, in welchem die Netzhaut innerhalb der Brennweite liegt, ergibt sich für die Bilddistanz der folgende Werth:

$$f_{,,} = - \frac{f_{,} F_{,,}}{F_{,} - f_{,}} .$$

Und da $f_{,}$ kleiner ist als $F_{,}$, so ist der Bruch negativ, d. h. das Bild liegt auf derselben Seite des Systemes wie das Object.

In Bezug auf die Grösse des Bildes ergeben sich ähnliche Beziehungen wie bei der Loupe.

Die uns bekannte Formel von der Bildgrösse lautet:

$$\frac{\beta_{,,}}{\beta_{,}} = - \frac{F_{,}}{l_{,}}$$

wo $l_{,}$ die Differenz zwischen der Objectsdistanz und Brennweite, $f_{,} - F_{,}$ bedeutet. Steht wie im emmetropischen Auge die Netzhaut im Brennpunkte, dann wird $f_{,} = F_{,}$ und $l_{,}$ daher $= 0$.

Der frühere Ausdruck ergibt in diesem Falle:

$$\frac{\beta_{,,}}{\beta_{,}} = - \frac{F_{,}}{0} = \infty .$$

Ist aber, wie im hypermetropischen Auge, die Netzhaut innerhalb der Brennweite gelagert, also $f_{,}$ kleiner als $F_{,}$, dann wird $l_{,}$ negativ und desshalb $- \frac{F_{,}}{-l_{,}}$ positiv, was nichts anderes bedeutet, als dass das Bild ein aufrechtes, virtuelles ist.

Wenn wir im aufrechten Bilde ophthalmoskopiren, so benutzen wir das dioptrische System des Auges als Loupe, um die Einzelheiten des Augengrundes zu beobachten. Wir haben früher erwähnt, dass nur im emmetropischen und hypermetropischen Auge Loupenbilder entworfen werden. Wollen wir virtuelle Bilder von myopischen Augen erhalten, so müssen wir diese durch Zerstreuungsgläser zur Emmetropie corrigiren. Es fragt sich nun: Können wir aus den uns bekannten Formeln, die wir bei der Loupe gefunden haben, die scheinbare Vergrösserung berechnen, unter welcher wir die ophthalmoskopischen Bilder sehen?

Dies ist in der That der Fall und wir wollen diese Berechnungen in den Hauptzügen durchführen. Wir haben bei Berechnung der scheinbaren Vergrösserung der Loupe gesehen, dass im Falle das Object im Brennpunkte desselben sich befindet, die Formel für diese Vergrösserung, $\frac{8''}{F}$, gelte.

Die Thatsache, dass wir bei Accommodationsruhe ein Object, dessen Entfernung uns nicht bekannt ist, von welchem wir aber vermuthen, dass es sich in grösserer Nähe befinde, nach 8—10″ vom Auge verlegen, hat auch hier, wie immer, ihre Gültigkeit. Bei der Loupe haben wir F vom Centrum der Linse, also vom Knotenpunkt aus gerechnet, während im menschlichen Auge die Brennweiten von den Hauptpunkten aus gerechnet werden.

Wollen wir entsprechend der Loupe auch beim Auge vorgehen, so müssen wir im obigen Bruche statt $F_,$ die Entfernung des Knotenpunktes vom Brennpunkte $= G_,$ setzen.

$G_,$ beträgt im schematischen Auge 15 mm. Setzen wir 8″ = 210 mm, so ist

$$\frac{8''}{G_,} = \frac{210}{15} = \mathbf{14.}$$

Steht demnach die Netzhaut im Brennpunkte des dioptrischen Systemes des Auges, dann erscheint dieselbe in einer etwa 14fachen Vergrösserung*).

Ist aber das beobachtete Auge myopisch, so können die Details des Augengrundes von einem normalsichtigen Beobachter nur dann wahrgenommen werden, wenn die Myopie durch ein Zerstreuungsglas zur Emmetropie corrigirt wird.

Nach ausgeführter Correction befindet sich die Netzhaut wieder im Brennpunkte des dioptrischen Systemes, aber eines solchen, welches aus dem des Auges und des Zerstreuungsglases zusammengesetzt ist.

Wollen wir in obiger Formel $G_{,,}$ d. i. die Entfernung der Netzhaut von dem Knotenpunkte des zusammengesetzten Systemes finden, so müssen wir die erste Brennweite des letzteren suchen, denn die erste Brennweite ist, wenn wir vom Auge aus in umgekehrter Richtung rechnen, die zweite Brennweite und $F_{,,} = G_{,}$. Kennen wir aber $G_{,,}$ dann haben wir nach obiger Formel auch schon die scheinbare Vergrösserung gefunden.

Ein Beispiel soll dies erläutern: Das beobachtete Auge habe M $^1/_2$ und diese würde zur Emmetropie corrigirt, durch eine concave Linse von 1″ Brennweite, 1″ vor dem Knotenpunkt des Auges gesetzt.

$F_,$, die erste Hauptbrennweite eines combinirten Systemes, wird nach Helmholtz durch folgende Formel ausgedrückt:

$$F_, = \frac{f_, \varphi_,}{\varphi_, + f_{,,} - d},$$

wo $f_,$ und $f_{,,}$ die vordere und hintere Brennweite des ersten Systemes, $\varphi_,$ die vordere Brennweite des zweiten Systemes und d die Distanz zwischen den Knotenpunkten des ersten und des zweiten Systemes bedeuten.

In unserem Falle ist $f_, = f_{,,} = 1'' = 26$ mm die Brennweite der Concavlinse, $\varphi_, = 15$ mm die vordere Brennweite des Auges, und wir wollen $d = 1'' = 26$ mm setzen.

---

*) Gewöhnlich wird diese Vergrösserung als eine $14^1/_3$fache berechnet, weil 8 Par. ″, welche grösser als W. ″ sind, als Grundlage für die Berechnung angenommen werden.

Substituiren wir diese Werthe in obige Formel, dann haben wir:

$$F_{,} = \frac{-26 \times 15}{15 - 26 - 26} = \frac{-390}{-37} = 10{\cdot}54 \text{ mm.}$$

Die Formel $\frac{8''}{G_{,}}$ hat nunmehr den Werth $\frac{210}{10{\cdot}54} = \mathbf{19{\cdot}92}$.

Wird aber die M $1/2$ durch ein Concavglas von $1\,1/2''$ Brennweite, $1/2''$ vor dem Knotenpunkte des Auges corrigirt, ist demnach $d = 1/2'' = 13$ mm, dann ist $F_{,} = 15{\cdot}81$ und die Formel $\frac{8''}{G_{,}}$ hat den Werth $\frac{210}{15{\cdot}81}$ mm $= \mathbf{13{\cdot}28}$.

Ist das beobachtete Auge aber hypermetropisch, dann müssen wir es durch ein Convexglas zur Emmetropie corrigiren und eine ähnliche Berechnung anstellen, wie wir sie soeben für das myopische Auge durchgeführt haben, oder dieses Correctionsglas wird durch Accommodation des Beobachters ersetzt.

Hat das beobachtete Auge z. B. H $1/3$, liegt also der Fernpunkt $3''$ hinter dem Knotenpunkte des Auges, dann wird eine Convexlinse von $4''$ Brennweite, einen Zoll vor dem Knotenpunkt gesetzt, die aus dem Auge dringenden Strahlen parallel machen.

Suchen wir nun $F_{,}$, das auch in diesem Falle, weil vom Auge aus in umgekehrter Richtung gerechnet wird, mit $F_{,,} = G_{,}$ zu bezeichnen ist, dann ist $F_{,} = \frac{104 \times 15}{15 + 104 - 26} = \frac{1560}{93} = 16{\cdot}774$ mm und $\frac{8''}{G_{,}} = \frac{210}{16{\cdot}744} = \mathbf{12{\cdot}51}$.

Wird die Hypermetropie des beobachteten Auges durch Accommodation des Beobachters corrigirt, so tritt ein ähnliches Verhältniss in Betreff der scheinbaren Vergrösserung ein, wie bei einem emmetropischen Beobachter, welcher ein innerhalb der Brennweite einer Loupe befindliches Object betrachtet.

In einem Auge mit H $1/3$ liegt die Netzhaut (unter Benutzung der Constanten des schematischen Auges) etwa 3 mm innerhalb der Brennweite der Augenmedien. Wir müssen desshalb analog dem Vorgehen bei der Loupe die Proportion aufsetzen:

$$15 : 3 = 184 : x$$

(15 mm $= G_{,}$, 210 mm $- 26$ mm $= 8'' - d'' = 184$ mm).
Aus dieser Proportion ergibt sich

$$x = \frac{184 \times 3}{15} = \frac{552}{15} = 36{\cdot}8 \text{ mm.}$$

Ziehen wir diese 36·8 mm von 210 mm ab, so erhalten wir die Entfernung, in welche das ophthalmoskopische Bild projicirt wird = 173·2 mm.

Wollen wir nun die scheinbare Vergrösserung erfahren, so müssen wir wieder die Formel

$$\frac{P \times 173{\cdot}2}{f_{,} + d}$$

in Verwendung ziehen.

P ist in unserem Falle $= \frac{95}{43}$, f, + d = 38 mm, also

$$\frac{95}{43} \cdot \frac{173 \cdot 2}{38} = \frac{8227}{817} = \mathbf{10 \cdot 07}.$$

Die Formel für die Grösse des Netzhautbildes, wenn ein Object im Brennpunkte einer Loupe sich befindet, $\frac{g''}{F}$, findet selbstverständlich auch dann ihre Anwendung, wenn ein emmetropisches oder emmetropisch gemachtes Auge von einem zweiten emmetropischen Auge mit dem Augenspiegel beobachtet wird. Auch hier bedeutet der Umstand, dass d in der Formel nicht vorkommt, ein Gleichbleiben der Grösse des Netzhautbildes bei allen möglichen Entfernungen zwischen beiden Augen.

Mit dieser Thatsache steht die Beobachtung im Widerspruche, dass, wenn ein Emmetrope ein emmetropisches Auge untersucht, die Details des Augengrundes nur in einer Entfernung von höchstens einigen Zollen deutlich wahrgenommen werden, während sie um so mehr verschwinden, je grösser die Distanz zwischen beiden Augen wird.

Diese Beobachtung findet dadurch ihre Erklärung, dass das Netzhautbildchen des von der Cornea entworfenen Bildes der Pupille mit wachsender Entfernung stetig kleiner wird, während das Netzhautbild, welches der Augengrund entwirft, immer gleich gross bleibt, so dass schliesslich das erstere nur mit einem kleinen Theile des letzteren, z. B. dem eines Gefässstückes, zusammenfällt und desshalb in der Pupille nur ein röthlicher Schimmer erscheint.

Alle obigen Berechnungen wurden unter der Voraussetzung angestellt, dass der Beobachter ein emmetropisches Auge besitzt. Wir wollen aber nunmehr annehmen, dass der Beobachter myopisch oder hypermetropisch sei. Da aber auch das beobachtete Auge emmetropisch, myopisch oder hypermetropisch sein kann, so werden sich sowohl bei Myopie als auch bei Hypermetropie des Beobachters je drei Fälle ergeben, wie wir dies auch bei der Berechnung für einen normalsichtigen Beobachter gesehen haben.

Handelt es sich um einen myopischen Beobachter, so ist es selbstverständlich, dass das virtuelle Bild des Augengrundes in einer bestimmten endlichen Entfernung, welche dem Fernpunktsabstande der Myopie entspricht, sich befinden muss, um deutlich wahrgenommen zu werden. Das Object muss demnach seinen Ort innerhalb der Brennweite haben.

Ist das beobachtete Auge hypermetropisch und entspricht der Ort des virtuellen Bildes dem Fernpunkte des myopischen Beobachters, dann wird der Augengrund auch ohne Zuhilfenahme von Correctionsgläsern wahrgenommen werden, hat das beobachtete Auge aber emmetropischen oder myopischen Bau, dann muss ein Concavglas verwendet werden, das jene Stärke besitzt, um ein virtuelles Bild hervorzurufen, welches im Fernpunkte des myopischen Beobachters gelegen ist.

Ist der Beobachter aber hypermetropisch, so muss derselbe bei Emmetropie des beobachteten Auges ein Convexglas verwenden, oder dieses durch seine eigene Accommodation ersetzen. Ist das zu beobachtende Auge myopisch, so kann, wenn der Fernpunkt der Myopie

mit dem negativen Fernpunkte der Hypermetropie des Beobachters in einem Punkt zusammenfällt, ohne Intervention eines Correctionsglases deutlich gesehen werden. Ist der zu Untersuchende aber hypermetropisch, so muss, wie bei Emmetropie, ein Convexglas, welches die Hypermetropie beider Augen corrigirt, in Verwendung kommen oder dasselbe durch Accommodation vollständig oder theilweise ersetzt werden.

Die scheinbaren Vergrösserungen, welche der Augengrund bei diesen verschiedenen Modalitäten zeigt, sind sehr verschiedene, und wollen wir desshalb den Weg zeigen, wie sie in den sechs verschiedenen Fällen durch die Loupenformel zu berechnen sind.

A. Der Beobachter ist myopisch, das beobachtete Auge emmetropisch.

I. Die Myopie des Beobachters ist kleiner als $^1/_8$.

Beispiel. Myopie des Beobachters $= 3\,^1/_{10}$ D, zur Emmetropie corrigirt durch ein Concavglas von 307 mm Brennweite, 13 mm $= ^1/_2''$ vom Knotenpunkt des Auges gesetzt. Distanz zwischen Glas und Knotenpunkt des beobachteten Auges ebenfalls $=$ 13 mm, folglich die Distanz zwischen dem Knotenpunkt beider Augen $=$ 26 mm $= 1''$.

Die vordere Brennweite der aus dem Zerstreuungsglase und dem beobachteten Auge combinirten Systeme

$$F_, = \frac{307 \times 15}{15 - 307 - 13} = \frac{-4605}{-305} = 15{\cdot}098.$$

In der Formel für die Grösse des Netzhautbildes $\dfrac{g_{,,}}{f_, + d - \dfrac{f_, d}{F}}$

bedeutet $f_,$ die Entfernung des Objectes vom Knotenpunkte und F die Entfernung des hinteren Brennpunktes vom Knotenpunkte $= G_,$, wobei $G_,$ gleich ist der gefundenen vorderen Brennweite des combinirten Systemes.

Die scheinbare Vergrösserung finden wir, wenn wir mit der letzteren Formel $\dfrac{8''}{g_{,,}}$ multipliciren, weil Myope, deren Fernpunkt über $8''$ hinausliegt, das Loupenbild bei Accommodationsruhe nach $8''$ verlegen. Die Formel für die scheinbare Vergrösserung wird demnach sein:

$$\frac{g_{,,}}{f_, + d - \dfrac{f_, d}{F}} \times \frac{8''}{g_{,,}} = \frac{8''}{f_, + d - \dfrac{f_, d}{F}}$$

Setzen wir in diese Formel die Werthe, so haben wir

$$\frac{8''}{15 + 26 - \dfrac{15 \times 26}{15{\cdot}098}} = 13{\cdot}45.$$

Die scheinbare Vergrösserung also, die ein Myope von $3\,^1/_{10}$ D $= ^1/_{12}$ von dem Augengrunde eines Emmetropen erhält, wenn er seine Myopie durch ein Concavglas von 307 mm Brennweite $^1/_2''$ vor seinem Knotenpunkte gesetzt, corrigirt und die Distanz zwischen den Knotenpunkten beider Augen $1''$ beträgt, ist etwas geringer als diejenige, welche ein Emmetrope von demselben Augengrunde erhalten würde.

Hiebei ist vorausgesetzt, dass in dem letzten Ausdrucke $f_,$ und d dieselben Werthe haben, wie in dem beobachteten Auge, wiewohl sich jener Ausdruck auf das aus dem Auge und dem Correctionsglase combinirte System bezieht. In dem Nenner $f_, + d - \frac{f_, d}{F}$ bleibt die Summe $f_, + d$ immer dieselbe, wenn auch $f_,$ und d ihre Werthe verändern. Anders verhält es sich mit dem Producte d $f_,$, indem bei Veränderung der Werthe von d und $f_,$ ersteres verschieden ausfallen muss. Da $f_, + d$ die Entfernung der Netzhaut des beobachteten Auges vom Knotenpunkte des beobachtenden bedeutet, also eine Linie bildet, welche durch den Knotenpunkt des beobachteten Auges in die beiden Summanden $f_,$ und d getheilt wird, so hängt die Grösse von d und $f_,$ von der Lage dieses Knotenpunktes ab und $f_,$ wird um so viel grösser werden, als d kleiner wird, und umgekehrt, je weiter der Knotenpunkt des combinirten Systemes vor oder hinter dem Knotenpunkte des beobachteten Auges liegt.

Combiniren wir Concav- oder Convexgläser mit dem Auge, so bringen nur solche von sehr kurzer Brennweite eine stärkere Verschiebung des Knotenpunktes als 0·1 mm hervor, während bei schwächeren sphärischen Gläsern eine Verschiebung um wenige Hundertstel und Tausendstel eines Millimeters eintritt, wenn wir, wie es geschehen, die Distanz zwischen Glas und Auge nicht grösser als $^1/_2$″ annehmen. Wir können desshalb in dem soeben berechneten, als auch in späteren Fällen, bei welchen die Brennweite des Glases nicht zu kurz wird, die Veränderung der Grösse von $f_,$ und d im Interesse einer einfachen Rechnung vernachlässigen, ohne einen grossen Fehler in dem Werthe der scheinbaren Vergrösserung zu erhalten.

II. Hat der myopische Beobachter eine Myopie stärker als $^1/_8$, so wird das Netzhautbild, wie wir bei der Loupe gesehen, in den Fernpunkt, also an den Ort des virtuellen Bildes verlegt. Dies geschieht auch beim Ophthalmoskopiren, wenn, wie wir später sehen werden, der Augengrund solche virtuelle Bilder gibt, welche mit dem Fernpunkte des myopischen Auges (also ohne Intervention eines corrigirenden Glases) zusammenfallen.

Ist aber das beobachtete Auge emmetropisch und muss desshalb der Beobachter seine Myopie durch ein Zerstreuungsglas corrigiren, dann verhält sich derselbe wie ein Emmetrope. Ebenso wenig als er sich mit durch ein Glas corrigirter Myopie beim Blick in die Ferne über die Lage der Objecte dadurch täuschen lässt, dass dieselben ihm als virtuelle in seinem Fernpunkte liegende Bilder erscheinen, ebenso wenig verlegt er das Loupenbild eines Objectes, welches im Brennpunkte einer Loupe sich befindet, in seinen Fernpunkt, wiewohl das corrigirende Glas die Strahlen derart bricht, als kämen sie von eben diesem Fernpunkte her. Er verhält sich vielmehr dem emmetropischen Auge gegenüber wie ein emmetropischer Beobachter und verlegt das gewonnene Netzhautbild in eine Entfernung von 8″.

B e i s p i e l. Der Beobachter habe M $^1/_3$ = 13 D, also Fernpunktsabstand = 3″ = 78 mm, das beobachtete Auge ist emmetropisch. Die Myopie wird corrigirt durch ein Concavglas von 65 mm Brennweite, 13 mm = $^1/_2$″ vor dem Knotenpunkte des Auges. d, die Entfernung zwischen Glas und beobachtetem Auge, sei ebenfalls 13 mm.

Die vordere Brennweite des aus dem Concavglase und dem beobachteten Auge combinirten Systems

$$F_{,} = \frac{-65 \times 15}{15 - 65 - 13} = \frac{-975}{-63} = 15{\cdot}48.$$

Setzen wir wieder die Werthe in die Formel für die scheinbare Vergrösserung $\dfrac{8''}{f_{,} + d - \dfrac{f_{,}\,d_{,}}{F_{,}}}$ so haben wir ($8'' = 210$ mm)

$$\frac{210}{15 + 26 - \dfrac{15 \times 26}{15{\cdot}48}} = 13{\cdot}287.$$

Wollten wir das Netzhautbild statt nach 8″ in den Fernpunkt des myopischen Auges, also in 3″ verlegen, so würde die scheinbare Vergrösserung etwa eine 5fache sein, was der Erfahrung vollkommen widerspricht.

B. Ist das beobachtete Auge hypermetropisch und der Beobachter myopisch, dann können sich drei verschiedene Fälle ergeben.

1. Der Fernpunkt des hypermetropischen Auges fällt mit dem des myopischen zusammen.

2. Der erstere liegt hinter dem letzteren (H ist schwächer als M).

3. Ersterer liegt vor dem letzteren (H ist stärker als M).

Beispiel zu 1. Die Myopie des Beobachters sei $^1/_3$, der Fernpunkt also $3'' = 78$ mm, $d_{,}$ die Entfernung der Knotenpunkte beider Augen $= 1'' = 26$ mm. Dann muss der Fernpunkt des beobachteten Auges 52 mm hinter dem Knotenpunkte desselben liegen, wenn beide Fernpunkte zusammenfallen sollen, also $H = {}^1/_2$.

Um die Entfernung $f_{,}$, d. i. die Entfernung des Objectes (der Netzhaut) vom Knotenpunkte bei einem negativen Fernpunktsabstande von 52 mm zu finden, müssen wir $-l_{,}$, d. i. die Entfernung des Bildes vom vorderen Brennpunkte des Auges suchen. Da sich das Bild 52 mm hinter dem Knotenpunkte befindet, die Entfernung des vorderen Brennpunktes vom Knotenpunkte 20 mm beträgt, so ist $-l_{,,} = 72$ mm. Aus der Gleichung:

$$l_{,,}\, l_{,} = F_{,}\, F_{,,}$$

können wir den Werth von $l_{,}$, d. i. die Entfernung der Netzhaut von dem hinteren Brennpunkte des Auges finden.

Es ist nämlich $l_{,} = \dfrac{F_{,}\,F_{,,}}{-l_{,,}} = \dfrac{20 \times 15}{-72} = \dfrac{300}{-72} = -4{\cdot}17.$

Wie schon früher erwähnt, wird in einem solchen Falle das Netzhautbild an den Ort des virtuellen Bildes, d. i. nach 78 mm verlegt werden (dem Fernpunkte des myopischen Auges).

Jetzt können wir in die Formel für die scheinbare Vergrösserung die Werthe setzen:

$$\frac{78}{10{\cdot}83 + 26 - \dfrac{10{\cdot}83 \times 26}{15}}$$

wobei $f_{,}$ die Entfernung der Netzhaut vom Knotenpunkte bedeutet. Führt man diese Rechnung aus, so ergibt sich als scheinbare Ver-

grösserung **4·31**, wohl eine der geringsten bei der Untersuchung im aufrechten Bilde.

Beispiel zu 2. Hat der Beobachter M $^1/_3$, beträgt also der Fernpunktsabstand 78 mm, und besitzt das beobachtete Auge H 7·7 D, negativer Fernpunktsabstand 130 mm, so wird ein Correctionsglas concav, $\frac{1}{119 \cdot 17}$ mm nothwendig sein, um das virtuelle Bild in den Fernpunkt des Beobachters zu bringen. Die Brennweite des aus dem Concavglase und dem hypermetropischen Auge combinirten Systems ist:

$$F_{,} = \frac{-119 \cdot 17 \times 15}{15 - 119 \cdot 17 - 13} = \frac{-1787 \cdot 45}{-117 \cdot 17} = 15 \cdot 25.$$

Da das Auge des Beobachters durch die Correctionslinse von 119·17 mm Brennweite in ein schwächer myopisches verwandelt wurde, von M $^1/_3$ zu M etwa $^1/_5$ nämlich, so ist es klar, dass das Netzhautbild auch in diesen erworbenen Fernpunkt verlegt werden wird, wie wir das bei der Loupe kennen gelernt haben.

Da die Netzhaut des hypermetropischen Auges von 7·7 D, wie die Rechnung ergibt, 2 mm vor dem hinteren Brennpunkte liegt, so müssen wir $f_{,}$ mit 13 mm ansetzen.

Setzen wir nun die Werthe in unsere Vergrösserungsformel, so haben wir:

$$\frac{130 + 26}{13 + 26 - \frac{13 \times 26}{15 \cdot 25}} = \mathbf{9 \cdot 26}.$$

Beispiel zu 3. Der Beobachter habe wieder M $^1/_3$, das beobachtete Auge H 25 D, es liegt also der Fernpunkt des Beobachters 78 mm vor seinem Knotenpunkte, der negative Fernpunkt des beobachteten Auges 40 mm hinter dem Knotenpunkt desselben, und da die Distanz der Knotenpunkte beider 26 mm = 1″ betragen soll, so liegt der negative Fernpunkt des hypermetropischen Auges 66 mm vor dem Knotenpunkte des Beobachters. Dieser ist desshalb gezwungen zu accommodiren und diese Accommodation müssen wir in Rechnung ziehen.

Da der Beobachter accommodirt, so muss er, wie wir bei der Loupe gesehen haben, die Vorstellung erhalten, als würde das Scheinobject näher liegen, als der Entfernung entspricht, für welche accommodirt wird.

Die Accommodation, die in unserem Falle angewendet wird, ist gleich $\frac{1}{66}$ mm — $\frac{1}{78}$ mm, da doch für den Fernpunkt des myopischen Auges nicht accommodirt wird.

Wir haben im Beispiele 1 gesehen, dass ein hypermetropisches Auge, dessen negativer Fernpunkt 52 mm beträgt, ein solches sei, dessen Netzhaut bei einem gegenseitigen Abstande beider Augen von 26 mm von unserem myopischen Auge bei Accommodationsruhe deutlich wahrgenommen wird.

In einem solchen hypermetropischen Auge liegt die Netzhaut — wie wir gesehen haben — 4·17 mm vor dem hinteren Brennpunkte.

Bei einer H von 25 D liegt aber die Netzhaut 5 mm vor dem hinteren Brennpunkte.

Da ein Beobachter von einem solchen Grade von Myopie die Netzhaut, welche 4·17 mm vor dem hinteren Brennpunkte, also 10·83 mm hinter dem Knotenpunkte eines beobachteten Auges liegt, in eine Entfernung von 78 mm vor seinem Knotenpunkte verlegt, so wird nach dem, was wir bei der Loupe erfahren haben, die Netzhaut, welche 10 mm hinter dem Knotenpunkte des beobachteten Auges liegt, in eine Entfernung verlegt werden, welche wir aus der Proportion:

$$0{\cdot}83 : 10{\cdot}83 = x : 52$$

erfahren. Aus dieser Proportion ist $x = 3{\cdot}985$.

Das Scheinobject wird demnach in diesem Falle nach 78 mm weniger 3·985 mm = rund 74 mm verlegt werden.

Die scheinbare Vergrösserung wird demnach

$$\frac{74}{f_{\prime} + d - \frac{f_{\prime}\, d}{G_{\prime}}} = \frac{74}{10 + 26 - \frac{260}{15}} = \frac{74}{18^{2}/_{3}} = 3{\cdot}96.$$

Hier muss aber noch des Falles Erwähnung geschehen, in welchem der myopische Beobachter die stärkere Hypermetropie des beobachteten Auges durch ein Convexglas corrigirt.

Beispiel zu 3 a. Der Beobachter habe wieder $M^{1}/_{3}$, der Fernpunkt dieses Auges liege also 78 mm vor dem Knotenpunkte; die Hypermetropie des beobachteten Auges betrage wieder 25 D, der negative Fernpunkt liegt demnach 40 mm hinter dem Knotenpunkte; das corrigirende Convexglas von 287·3 mm ist sowohl von dem beobachteten als auch von dem beobachtenden Auge 13 mm entfernt.

Wird das Convexglas mit dem hypermetropischen Auge combinirt, so ist die erste Hauptbrennweite des combinirten Systemes

$$F_{\prime} = \frac{287 \times 15}{15 + 173{\cdot}3 - 13} = \frac{4305}{289} = 14{\cdot}89 \text{ mm}.$$

Da der myopische Beobachter das Netzhautbild in seinen Fernpunkt, also nach 78 mm projicirt, so wird die scheinbare Vergrösserung nach bekannter Formel gleich sein:

$$\frac{78}{f_{\prime} + d - \frac{f_{\prime}\, d}{G_{\prime}}} = \frac{78}{10 + 26 - \frac{260}{14{\cdot}89}} = 4{\cdot}2.$$

C. Das beobachtende Auge ist myopisch, das beobachtete ebenfalls. In diesem Falle müssen beide Augen mindestens bis zur Emmetropie corrigirt werden, damit ein deutliches Bild des Augengrundes dem Beobachter erscheine.

Ist aber die Myopie des Beobachters zur Emmetropie corrigirt, so wird, wie wir dies schon früher gesehen haben, das Scheinobject nach 8″ verlegt werden.

Beispiel. Sowohl das beobachtende als auch das beobachtete Auge habe $M\ ^{1}/_{3}$, also Fernpunktsabstand 78 mm, jedes der beiden Augen wird demnach durch eine Concavlinse von 65 mm Brennweite, 13 mm vor den Knotenpunkt des Auges gesetzt, corrigirt. Eine Concavlinse von $32^{5}/_{10}$ mm Brennweite, in die Mitte der Distanz beider Knotenpunkte = 36 mm gesetzt, wird das beobachtende Auge für den beobachteten Augengrund corrigiren.

Combiniren wir diese Concavlinse mit dem beobachteten Auge, so ist $F_, = \frac{-32{\cdot}5 \times 15}{15 - 32{\cdot}5 - 13} = 15{\cdot}94$ und die scheinbare Vergrösserung berechnet sich folgendermassen:

$$\frac{8''}{20{\cdot}172 + 26 - 20{\cdot}172 \times \frac{26}{15{\cdot}94}} = \mathbf{15{\cdot}82.}$$

Hiebei muss $f_, = 20{\cdot}172$ gesetzt werden, weil die Netzhaut eines myopischen Auges von $^1/_3$ um $5{\cdot}172$ hinter dem hinteren Brennpunkte des Auges gelegen ist, wie sich leicht berechnen lässt.

Fallen nämlich Strahlen aus dem Fernpunkte eines solchen Auges auf dasselbe, so ist die Entfernung dieses Punktes bis zum Knotenpunkte 78 mm, die Entfernung des vorderen Brennpunktes vom Knotenpunkte ist = 20 mm und desshalb $l_, = 58$ mm.

Aus der Gleichung $l_, l_{,,} = F_, F_{,,}$ finden wir

$$l'' = \frac{300}{58} = 5{\cdot}172.$$

D. Ist das beobachtende Auge hypermetropisch und das beobachtete emmetropisch, dann kann der Augengrund des letzteren von dem ersteren unter Zuhilfenahme der Accommodation, oder bei nicht accommodirtem Auge, mittelst eines die Accommodation ersetzenden Convexglases deutlich wahrgenommen werden.

Wir wollen beide Fälle in Betracht ziehen.

Beispiel 1. Der Beobachter hat H 7·7 D. Das beobachtete Auge hat E. Nennen wir $\gamma_{,,}$ die Lage der Netzhaut im hypermetropischen Auge und $g_{,,}$ die Lage desselben im emmetropischen in Bezug auf den Knotenpunkt, so wird die Formel für die Grösse des Netzhautbildes im hypermetropischen Auge des Beobachters

$$\frac{g_{,,}}{F} \times \frac{\gamma_{,,}}{g_{,,}} = \frac{\gamma_{,,}}{F}$$

die durch die Verkleinerungszahl der Accommodation reducirte Grösse des Netzhautbildes sein, wo $\frac{g_{,,}}{F}$ die Grösse des Netzhautbildes im emmetropischen Auge ist.

Setzen wir nun das Verhältniss:

$$\frac{\gamma_{,,}}{F} : 1 = x : 14,$$

so erfahren wir aus dieser Proportion die scheinbare Vergrösserung, da das Netzhautbild bei beiderseitiger E gleich 1 und die scheinbare Vergrösserung hiebei eine 14fache ist und auch in vorliegendem Falle das Object nach 8″ verlegt wird.

Da die Netzhaut im Auge des Beobachters 2 mm vor dem Brennpunkte liegt und statt $F_,$ der Werth von $G_,$ zu setzen ist, so heisst die Proportion:

$$\frac{13}{15} : 1 = x : 14,$$

woraus sich für $x = \mathbf{12{\cdot}13}$ ergibt.

Beispiel 2. Wird die Hypermetropie des Beobachters von 7·7 D durch ein Convexglas von 143 mm Brennweite, 13 mm vor den Knotenpunkt des Auges gesetzt, corrigirt und ist das beobachtete Auge wieder emmetropisch, dann combiniren wir das Convexglas, welches auch 13 mm vor dem emmetropischen Auge sich befindet, mit diesem letzteren und finden als vordere Brennweite des combinirten Systemes:

$$F_{,} = \frac{143 + 15}{15 + 143 - 13} = 14{\cdot}79$$

und da das accommodationslose Auge das Scheinobject nach 8″ verlegt, wenn das Object im Brennpunkte der Loupe sich befindet, so setzen wir

$$\frac{8''}{15 + 26\,\frac{15 + 26}{14{\cdot}79}} = 14{\cdot}35$$

E. Ist der Beobachter hypermetropisch, das beobachtete Auge myopisch, dann ergeben sich wieder drei Fälle.

1. Der Fernpunkt des myopischen beobachteten Auges fällt mit dem negativen Fernpunkt des Beobachters zusammen.

2. Der Fernpunkt des beobachteten Auges fällt hinter den negativen Fernpunkt des Beobachters. (Die Myopie ist schwächer als die Hypermetropie.)

3. Der Fernpunkt des beobachteten Auges fällt vor den Fernpunkt des hypermetropischen Beobachters. (Die Myopie ist stärker als die Hypermetropie des Beobachters.)

Beispiel zu 1. Die Hypermetropie des Beobachters ist wieder 7·7 D. Der negative Fernpunkt liegt 130 mm hinter dem Knotenpunkte des Auges, die Distanz zwischen beiden Augen = 26 mm = 1″. Die Myopie des beobachteten Auges ist eine solche, dass der Fernpunkt desselben 156 mm vor dem Knotenpunkte liegt. Die beiden Fernpunkte fallen nun zusammen und das beobachtende Auge kann ohne Zuhilfenahme eines Correctionsglases oder der Accommodation den Augengrund des beobachteten deutlich wahrnehmen. Diese Anordnung der beiden Augen ist unter den Begriff einer Loupencombination nicht zu subsumiren, weil das Object in diesem Falle vor dem vorderen Brennpunkt der Loupe gelegen ist. Dennoch können wir unsere Formel für die Vergrösserung des Netzhautbildes auch hier anwenden, weil sie in der Gestalt, in welche wir sie gebracht haben, für alle Objectsdistanzen gültig ist.

Das Netzhautbild wird dabei in 8″ verlegt werden, weil das beobachtende Auge accommodationslos ist.

Die Objectsdistanz $f_{,}$ werden wir mit 17·2 mm berechnen, weil die Netzhaut eines myopischen Auges, dessen Fernpunkt 156 mm vor seinem Knotenpunkte liegt, 2·2 mm hinter dem hinteren Brennpunkte sich befindet.

Setzen wir die Werthe in die uns bekannte Formel, dann ergibt sich

$$\frac{210}{17{\cdot}2 + 26 - \frac{17{\cdot}2 \times 26}{15}} = \mathbf{15{\cdot}64.}$$

In diesem Ausdrucke wurde wie immer statt F die hintere Knotenpunktsentfernung $G_{,} = 15$ mm gesetzt.

Beispiel zu 2. Der Beobachter hat H 7·7 D, negativer Fernpunkt also 130 mm. Der Fernpunkt des beobachteten Auges liege 200 mm vor seinem Knotenpunkte. Da beide Augen 26 mm von einander entfernt sind, so liegt der Fernpunkt des myopischen beobachteten Auges 44 mm hinter dem Fernpunkte des hypermetropischen. Nun sind zwei Fälle möglich: a) Das Auge des Beobachters accommodirt derart, dass die aus dem beobachteten Auge austretenden Strahlen stärker und zwar gegen seinen Fernpunkt convergiren. b) Der Beobachter accommodirt nicht, sondern ersetzt seine Accommodation durch ein Convexglas.

Beispiel ad a. Nennen wir den Abstand der Netzhaut vom Knotenpunkte im hypermetropischen Auge $\gamma_{,,} = 13$ mm und diesen Abstand im emmetropischen Auge $g_{,,}$, so ist

$$\frac{g_{,,}}{f_{,} + d - \frac{f_{,} d}{F}} \times \frac{\gamma_{,,}}{g_{,,}} = \frac{\gamma_{,,}}{f_{,} + d - \frac{f_{,} d}{F}}$$

die durch die Verkleinerungszahl der Accommodation reducirte Grösse des Netzhautbildes.

Dieser Ausdruck muss noch mit $\frac{8''}{\gamma_{,,}}$ multiplicirt werden.

Wie wir früher gesehen haben, verlegt das hypermetropische Auge das Loupenbild auch in dem Falle nach 8″, wenn es für parallele Strahlen accommodirt; es ist desshalb selbstverständlich, dass es auch bei geringerer Inanspruchnahme der Accommodation das Bild nach 8″ verlegen werde. Die scheinbare Vergrösserung wird demnach ausgedrückt durch:

$$\frac{210}{16{\cdot}667 + 26 - \frac{16{\cdot}667 \times 26}{15}} = \mathbf{15{\cdot}24.}$$

Hiebei ist $f_{,} = 16{\cdot}667$ mm angerechnet worden, weil die Netzhaut eines Auges mit M $^1/_{200}$ mm um 1·667 mm hinter dem Brennpunkt des dioptrischen Systemes liegt.

Beispiel ad b. Accommodirt der Beobachter nicht, sondern bedient er sich eines Convexglases, um den Fernpunkt des myopischen Auges mit seinem Fernpunkte zusammenfallen zu machen, dann muss dieses Glas eine Brennweite von 607·75 mm haben. Combiniren wir dieses mit dem Auge des Beobachteten, so ist die vordere Brennweite des combinirten Systemes

$$F_{,} = \frac{607{\cdot}75 \times 15}{15 + 607{\cdot}75 - 13} = 14{\cdot}95.$$

Da das hypermetropische Auge des Beobachters accommodationslos ist, so wird ebenfalls nach 8″ projicirt und die Formel für die scheinbare Vergrösserung

$$\frac{210}{16{\cdot}667 + 26 - \frac{16{\cdot}667 \times 26}{14{\cdot}95}}$$

ergibt eine **15·35**fache Vergrösserung.

Beispiel zu 3. Die Hypermetropie des Beobachters ist wie bisher immer 7·7 D, die Myopie des Beobachteten 10 D. Da der Fernpunkt von H 130 mm hinter dem Knotenpunkte des Beobachters liegt und der von M 100 mm vor dem Knotenpunkte des beobachteten Auges, so befindet sich dieser letztere 56 mm vor dem ersteren. Diese Convergenz der Lichtstrahlen ist für den Beobachter von 7·7 H zu stark und muss dieser desshalb ein Zerstreuungsglas anwenden, um den Fernpunkt des beobachteten myopischen Auges mit dem seinigen zusammenfallen zu lassen. Die Concavlinse, die hiezu gebraucht wird, hat eine Brennweite von 222·16 mm. Combiniren wir wieder das Correctionsglas mit dem beobachteten Auge, so ist:

$$F_{,} = \frac{-222{\cdot}16 \times 15}{15 - 222{\cdot}16 - 13} = \frac{3332{\cdot}4}{220{\cdot}16} = 15{\cdot}13$$

und die scheinbare Vergrösserung =

$$\frac{210}{18{\cdot}75 + 26 - \frac{18{\cdot}75 \times 26}{15{\cdot}13}} = \mathbf{15{\cdot}6.}$$

Hier wurde $f_{,}$ mit 18·75 berechnet, weil die Netzhaut eines Myopen von 10 D 3·75 mm hinter dem Brennpunkte des optischen Systemes liegt. Das Netzhautbild wird nach 8″ projicirt, weil das hypermetropische Auge accommodationslos ist.

F. Wir gelangen nunmehr zu dem letzten Falle, wo sowohl der Beobachter als das beobachtete Auge hypermetropisch sind. Da das letztere eine Loupe darstellt, bei welcher das Object innerhalb der Brennweite des optischen Systemes steht, so muss der Beobachter entweder accommodiren oder seine Accommodation durch ein Convexglas ersetzen oder endlich es kann die Differenz in der Refraction beider Augen zum Theil durch ein Convexglas und zum Theil durch Accommodation ausgeglichen werden, und dies pflegt derartig zu geschehen, dass die eigene Hypermetropie durch Accommodation, die des beobachteten Auges durch ein Convexglas corrigirt wird.

1. Beide Refractionsfehler werden durch Accommodation des Beobachters gedeckt.

Beispiel. Beobachter und beobachtetes Auge haben beide H 7·7 D, dann ist nach der bekannten Reduction des Netzhautbildes durch die Accommodation:

$$\frac{\gamma_{,,}}{13 + 26 - \frac{13 \times 26}{15}} = \frac{195}{247}$$

Hiebei wurde $f_{,}$ und $\gamma_{,,}$ mit 13 mm berechnet, weil die Netzhaut bei H 7·7 D, 2 mm vor dem Brennpunkte des optischen Systemes liegt. Die scheinbare Vergrösserung erfahren wir, wenn wir die Entfernung finden, nach welcher projicirt wird. Da das beobachtete Auge hypermetropisch ist, so befindet sich die Netzhaut innerhalb der Brennweite

des optischen Systemes und es wird desshalb die Projectionsebene näher liegen als 8″. Diese erfahren wir aus der Proportion:

$$2 : 15 = x : 210 - 26$$

$$x = \frac{184 \times 2}{15} = 24\,{}^{8}/_{15} \text{ mm.}$$

Es wird also nach $210 - 24\,{}^{8}/_{15} = 185\,{}^{7}/_{15}$ mm projicirt werden. Multipliciren wir das Netzhautbild

$$\frac{195}{247} \times \frac{185\,{}^{3}/_{10}}{13},$$

so erhalten wir als scheinbare Vergrösserung **11·305.**

2. Die Hyermetropie des Beobachters und des beobachteten Auges wird durch ein Convexglas zur Emmetropie corrigirt. Dieses Correctionsglas muss eine Brennweite von 65 mm haben und soll in die Mitte der Distanz beider Knotenpunkte, also 13 mm von jedem entfernt, gesetzt werden.

Die vordere Brennweite des aus diesem Glase und dem beobachteten Auge bestehenden combinirten Systems ist:

$$F_{,} = \frac{65 \times 15}{15 + 65 - 13} = 14{\cdot}55.$$

Die Netzhaut des beobachteten Auges ist in diesem combinirten Systeme derart gelagert, dass die Strahlen, die von ihr ausgehen, nach ihrem Austritte aus der Convexlinse derartig convergiren, dass sie nach dem Fernpunkt des beobachtenden Auges hinziehen. Da in diesem Falle der vordere Knotenpunkt des combinirten Systems 0·4 mm vor den Knotenpunkt des beobachteten Auges zu liegen kommt, so muss in der Vergrösserungsformel $f_{,}$ mit 13·4 und d mit 25·6 gerechnet und das Scheinobject wegen der Accommodationsruhe des beobachtenden Auges nach 8″ verlegt werden. Wir erhalten somit:

$$\frac{210}{13{\cdot}4 + 25{\cdot}6 - \frac{13{\cdot}4 \times 25{\cdot}6}{14{\cdot}55}} = \mathbf{13{\cdot}61.}$$

als scheinbare Vergrösserung.

3. Die Hypermetropie des beobachteten Auges wird durch eine Convexlinse von 143 mm Brennweite corrigirt, die Hypermetropie des Beobachters aber durch Accommodation.

Combiniren wir das beobachtete Auge mit dieser Convexlinse, so haben wir:

$$F_{,} = \frac{143 \times 15}{15 + 143 - 13} = 14{\cdot}79.$$

Da das beobachtende Auge für die durch die Convexlinse parallel gemachten Strahlen accommodirt ist, verlegt es das Scheinobject nach 8″, und wir erhalten daher als scheinbare Vergrösserung:

$$\frac{210}{13 + 26 - \frac{13 \times 26}{14{\cdot}79}} = \mathbf{13.}$$

Wir haben somit den Weg gezeigt, auf welchem bei jeder Combination zwischen den Augen des Beobachters und des Beobachteten

in jedem einzelnen Falle die scheinbare Vergrösserung zu finden ist und nachgewiesen, dass dies durch Benützung der Loupenformel möglich ist. Es erübrigt nur noch, die gewonnenen Resultate übersichtlich zu einer Tabelle zusammenzustellen, um diese Werthe rasch mit einander vergleichen zu können.

Auge des Beobachters	Auge des Beobachteten	Correctionsglas	Scheinbare Vergrösserung	Scheinbare Objectsdistanz
E	E	—	14	8″
E	M 1/2	— 1/26 mm, 26 mm vor dem Knotenpunkte	19·92	8″
E	M 1/2	— 1/39 mm, 13 mm vor dem Knotenpunkte	13·28	8″
E	H 1/3	+ 1/104 mm, 26 mm vor dem Knotenpunkte	12·51	8″
E	H 1/3	durch Accommodation ersetzt	10·07	173·2 mm
M 3·1 D	E	— 1/307 mm, 13 mm vor dem Knotenpunkte	13·45	8″
M 1/3	E	— 1/65 mm, 13 mm vor dem Knotenpunkte	13·287	8″
M 1/3	H 1/2 (1/52 mm)	—	4·31	78 mm
M 1/3	H 7·7 D	$-\frac{1}{119.17}$ mm, 13 mm vor dem Knotenpunkte	9·26	156 mm
M 1/3	H 25 D	durch Accommodation ersetzt	3·96	74 mm
M 1/3	H 25 D	1/287 mm, 13 mm vor dem Knotenpunkte	4·2	78 mm
M 1/3	M 1/3	$-\frac{1}{32.5}$ mm, 13 mm vor dem Knotenpunkte	15·82	8″
H 7·7 D	E	durch Accommodation ersetzt	12·13	8″
H 7·7 D	E	+ 1/143 mm, 13 mm vor dem Knotenpunkte	14·35	8″
H 7·7 D	M 1/156 mm	—	15·64	8″
H 7·7 D	M 1/200 mm	durch Accommodation ersetzt	15·24	8″
H 7·7 D	M 1/200 mm	$+\frac{1}{607.75}$ mm, 13 mm vor dem Knotenpunkte	15·35	8″
H 7·7 D	M 10 D	$-\frac{1}{222.16}$ mm, 13 mm vor dem Knotenpunkte	15·6	8″
H 7·7 D	H 7·7 D	durch Accommodation ersetzt	11·305	185·5 mm
H 7.7 D	H 7·7 D	+ 1/65 mm, 13 mm vor dem Knotenpunkte	13·61	8″
H 7·7 D	H 7·7 D	durch Accomm. u. + 1/143 mm, 13 mm vor dem Knotenpunkte	13	8″

§ 49. Die Vergrösserung des Augengrundes im umgekehrten Bilde ist eine reelle, wirkliche und keine scheinbare, wie bei der Untersuchung im aufrechten Bilde, indem das umgekehrte Bild ein reelles ist, das durch geeignete Vorkehrungen, z. B. durch einen Schirm, aufgefangen und gemessen werden kann.

Betrachten wir zuerst den einfachen Fall, in welchem durch die Augenmedien selbst ein Bild in der Luft entworfen wird, welches ein reelles und umgekehrtes ist. Nur ein emmetropisches und myopisches Auge können solche Bilder bei Accommodationsruhe entwerfen, während ein hypermetropisches Auge nur bei Accommodation auf einen unendlichen oder endlichen Punkt dies imstande ist.

Solche Bilder, welche sich in unendlicher oder grosser endlicher Entfernung derart formiren, haben nur ein theoretisches Interesse, weil sie hinter dem Beobachter liegen und desshalb von einem solchen nicht wahrgenommen werden können.

Aber auch die Bilder, welche von Augen, welche auf kurze Distanzen accommodirt sind, hervorgerufen werden, sind practisch nicht zu verwerthen, weil bei der Accommodation und bei gleichzeitig einfallendem Lichte die Pupille sich derart verengt, dass nur ein äusserst kleiner Theil des Augengrundes, der als solcher nicht erkannt werden kann, in der Luft sich formirt.

Es eignen sich desshalb zu dieser Untersuchungsmethode vor Allem nur hochgradig myopische Augen, und an einem solchen wollen wir auch zeigen, wie sich die Vergrösserung berechnen lässt.

Da wir in einem solchen Falle ein nicht combinirtes optisches System haben, so ergibt sich die Vergrösserung aus der uns bekannten Formel

$$\frac{\beta_{,}}{\beta_{,,}} = -\frac{l_{,}}{F_{,}}.$$

Wenn wir $\beta_{,}$ als Einheit annehmen, so wird aus dieser Formel

$$\beta_{,,} = -\frac{F_{,}}{l_{,}}.$$

Da $F_{,}$ in diesem Falle, wo vom Augengrunde aus gerechnet wird, die hintere Brennweite des Auges und $l_{,}$ die Distanz zwischen Netzhaut und Brennpunkt bedeutet, so können wir in jedem einzelnen Falle die Vergrösserung leicht berechnen.

Handelt es sich z. B. um eine Myopie von 12·5 D, so brauchen wir nur $l_{,}$ zu suchen, um die Vergrösserung des umgekehrten Luftbildes zu erhalten.

Dividiren wir 12·5 in 1000, so erhalten wir als Brennweite des Glases, welche dieselbe Brechkraft hat als die Myopie, 80 mm. Rechnen wir vom Augengrunde aus, wo 80 mm die Entfernung des Bildes vom Knotenpunkte bedeutet, so ist

$$l_{,,} = f_{,,} - F_{,,} = g_{,,} - G_{,,} = 80 - 20 = 60$$

und aus der Gleichung

$$l_{,} l_{,,} = F_{,} F_{,,}$$

erfahren wir

$$l_{,} = \frac{300}{60} = 5 \text{ mm}.$$

Setzen wir dieses Resultat in die obige Gleichung so erhalten wir

$$\beta_{,,} = -\frac{F_{,}}{l_{,}} = -\frac{20}{5} = -4.$$

Hiebei bedeutet das negative Vorzeichen, dass das Bild ein umgekehrtes sei.

Wenn wir nun zur Berechnung der Vergrösserung des gewohnheitsgemäss als umgekehrtes bezeichneten Bildes übergehen, so müssen wir uns erinnern, dass dasselbe durch eine Combination von optischen Systemen zustande kommt, und wenn es uns auch recht leicht gelänge, die vordere und hintere Brennweite eines solchen Systemes zu finden, so müssen wir doch noch wenigstens die Lage des (von hinten nach vorne gerechnet) vorderen Hauptpunktes des zusammengesetzten Systemes suchen.

Wir finden diese Lage aus der von Helmholtz berechneten Formel

$$h_, = \frac{d f_,}{d - \varphi_, - f_{,,}},$$

welche die Entfernung des vorderen Hauptpunktes des combinirten Systemes vor dem ersten Hauptpunkte des ersten Systemes bezeichnet.

1. Wir wollen jetzt zuerst die Vergrösserung berechnen, welche man erzielt beim emmetropischen Auge und zwar unter Zuhilfenahme einer Convexlinse von 2″ Brennweite, deren Centrum 2″ vom Knotenpunkte des Auges entfernt ist, eine Entfernung, welche der gewöhnlichen Haltung der Linse vor dem Auge entspricht.

Suchen wir zuerst die vordere Hauptbrennweite dieses combinirten Systemes, so haben wir

$$F_, = \frac{\varphi_, f_,}{\varphi_, + f_{,,} - d}.$$

Da wir von der Netzhaut aus rechnen, so ist $f_, = 20$ mm = der hinteren Brennweite des Auges, und $f_{,,} = 15$ mm = der vorderen Brennweite des Auges. $\varphi_, = d = 2'' = 52$ mm. Setzen wir die Werthe, so haben wir:

$$F_, = \frac{20 \times 52}{52 + 15 - 52} = \frac{1040}{+ 15} = 69{\cdot}3\dot{3}$$

$$h_, = \frac{52 \times 20}{52 + 15 - 52} = \frac{1040}{- 15} = - 69{\cdot}3\dot{3}$$

Da $h_,$ die Lage des ersten Hauptpunktes des combinirten Systemes vor dem ersten Hauptpunkte des ersten Systemes bedeutet, so muss, wenn $h_,$ negativ ist, diese Entfernung hinter dem ersten Hauptpunkte des vorderen Systemes liegen. In unserem Falle muss desshalb der erste Hauptpunkt des combinirten Systemes $69{\cdot}3\dot{3}$ mm hinter dem zweiten Hauptpunkte des Auges (von der Netzhaut aus gerechnet) liegen.

Da aber der vordere Brennpunkt vor dem ersten Hauptpunkte liegt, so muss der vordere Hauptbrennpunkt des combinirten Systemes mit dem zweiten Hauptpunkte des Auges zusammenfallen.

Ist die Netzhaut im emmetropischen Auge 20 mm hinter dem hinteren Hauptpunkte gelegen, so ist in dem combinirten Systeme

$$l_, = 20 \text{ mm},$$

folglich

$$\frac{\beta_{,,}}{\beta_,} = - \frac{F_,}{l_,} = - \frac{69{\cdot}3\dot{3}}{20} = - \mathbf{3{\cdot}46\dot{6}}.$$

2. Ist das Auge myopisch und nehmen wir wieder dieselben Verhältnisse der Objectivlinse an, wie früher, so müssen wir zuerst einen bestimmten Grad der Myopie voraussetzen, um an einem concreten Beispiele den Vorgang bei der Berechnung zu zeigen.

Es handle sich wieder, wie früher, um eine Myopie von 12·5 D, bei welcher die Netzhaut 5 mm hinter dem hinteren Brennpunkte des Auges gelegen ist.

In diesem Falle ist F wieder $= 69\cdot3\dot{3}$ und $h_{,}$ ebenfalls $= - 69\cdot3\dot{3}$. Es verändert sich in der Gleichung

$$\frac{\beta_{,,}}{\beta_{,}} = - \frac{F_{,}}{l_{,}}$$

nur die Grösse von $l_{,}$ gegenüber dem emmetropischen Auge. Da der erste Hauptbrennpunkt des combinirten Systemes dieselbe Lage hat, wie im emmetropischen Auge, so brauchen wir nur $l_{,} = 25$ mm zu setzen, um die erzielte Vergrösserung zu finden. Es ist dann

$$- \frac{F_{,}}{l_{,}} = - \frac{69\cdot3\dot{3}}{25} = - 2\cdot77.$$

3. Selbstverständlich verändert sich auch im hypermetropischen Auge nur die Grösse von $l_{,}$, während die Constanten des combinirten Systemes dieselben sind, wie beim myopischen und emmetropischen Auge.

Nehmen wir an, es handle sich um eine Hypermetropie von 25 D, bei welcher die Netzhaut 5 mm vor dem hinteren Brennpunkte des Auges gelegen ist, dann bekommen wir als Vergrösserungszahl

$$\frac{\beta_{,,}}{\beta_{,}} = - \frac{69\cdot3\dot{3}}{15} = - 4\cdot62.$$

Es ergibt sich aus dem soeben Erörterten, dass bei derselben Convexlinse und bei derselben Distanz zwischen dieser und dem Auge die Vergrösserung abhängig ist von dem Grade und dem Werthe der Refraction.

Eine kurze Discussion des Ausdruckes

$$\frac{\varphi_{,} f_{,}}{\varphi_{,} + f_{,,} - d}$$

wird zeigen, in welcher Weise bei derselben Refraction die Vergrösserung von der Brennweite der Linse und der Distanz zwischen dieser und dem Auge abhängt. Da in diesem Bruche $\varphi_{,}$ im Zähler als Factor, im Nenner aber als Summand vorkommt, so wird ceteris paribus der Werth des Bruches um so grösser, je grösser φ' ist, was nichts anderes bedeutet als: je grösser die Brennweite des Convexglases, d. i. je schwächer das Glas bricht, desto grösser wird das Bild.

Bei derselben Refraction und Verwendung derselben Linse wird die Vergrösserung von dem Werthe von d abhängig sein. Da d im Nenner mit negativen Vorzeichen vorhanden ist, so wird dieser um so kleiner werden, je grösser d wird, und desshalb der Werth des Bruches um so grösser, vorausgesetzt, dass d immer kleiner bleibt als $\varphi_{,} + f_{,,}$.

Wird aber $F_{,}$ grösser, dann nimmt auch die Vergrösserung zu.

Wird d gleich $\varphi_{,} + f_{,,}$, dann wird der Nenner gleich null und der Werth des Bruches ∞.

Die von der optischen Combination erzeugten Bilder sind dann noch immer umgekehrte, aber keine reellen, sondern virtuelle Bilder und die bei solchen Bildern erzeugten Vergrösserungen lassen sich, wie wir dies bei der Lehre von der Loupe schon gesehen haben, durch die physicalische Formel nicht ausdrücken.

Wird aber d grösser als $\varphi_{,} + f_{,,}$, so wird beim steigenden Werthe von d, der Nenner immer grösser und desshalb der Werth von $F_{,}$ immer kleiner, und da der Nenner nunmehr stets negativ bleibt, so wird auch $F_{,}$ negativ, und hieraus folgt, dass die erzeugten Bilder aufrechte und virtuelle sind, deren Grössenverhältnisse sich, wie früher erwähnt, der Berechnung durch die Linsenformel entziehen.

Aus der Discussion des obigen Ausdruckes ergibt sich demnach, dass das umgekehrte Bild nur solange ein reelles und desshalb leicht berechenbares ist, als die Distanz zwischen Convexlinse und Knotenpunkt des Auges kleiner ist, als die Summe der vorderen Brennweite desselben und der Brennweite des Convexglases.

---

5. Capitel.

Untersuchung des Gesichtsfeldes.

§ 50. Unter Gesichtsfeld versteht man jene Ausdehnung im Raume, deren Punkte bei ruhendem Blicke gleichzeitig wahrgenommen werden.

Dasselbe ist streng zu unterscheiden:

a) Von dem Blickfelde, welches jene Ausdehnung im Raume bedeutet, die von der Gesichtslinie in den äussersten peripheren Augenstellungen umschrieben werden kann.

b) Vom Sehfelde, d. i. jenem Raume, welchen wir bei Benutzung eines optischen Instrumentes mit einem Blicke übersehen.

Wir unterscheiden zwischen monoculärem und binoculärem Gesichtsfelde:

Das binoculäre Gesichtsfeld besteht aus einem grossen, beiden Augen gemeinschaftlichen mittleren, und je einem kleinen seitlichen Theile, welcher nur dem betreffenden Auge zugehört.

Je weiter bei den verschiedenen Thierclassen der Nasenvorsprung zurücktritt und je flacher das Gesicht wird, desto grösser wird der gemeinschaftliche Theil des Gesichtsfeldes. So haben die Vögel ein sehr kleines, der Mensch dagegen das grösste gemeinschaftliche Gesichtsfeld.

Die Grösse des monoculären Gesichtsfeldes ist von verschiedenen Verhältnissen abhängig.

So wird bei der Accommodation und in hypermetropischen Augen das Gesichtsfeld weiter, weil die Linse an die Cornea heranrückt. Es werden nämlich vom Auge noch leuchtende Punkte wahrgenommen, welche von der Gesichtslinie um 90° entfernt sind, so dass ihre Verlängerung die Augenaxe vertical treffen müsste.

Die Wahrnehmbarkeit solcher Punkte wird durch die Brechung an der Cornea und durch die Linse, zu der die Strahlen durch die Pupille gelangen, bewirkt, indem sie auf solche Weise auf empfindende

Netzhautstellen gelenkt werden; ferner hängt die Grösse des Gesichtsfeldes von der Weite der Pupille ab, dann von der Gestalt des Augapfels, indem in langgestreckten Bulbis die Retina nicht so weit vorne endigt, als in kurzen Augen, weiters soll die Netzhaut im Allgemeinen an der Nasenseite weiter nach vorne reichen, als an der Schläfenseite, wodurch sich die grössere temporale Ausdehnung des Gesichtsfeldes gegenüber der nasalen erklären würde.

Endlich werden die Grenzen des Gesichtsfeldes von den das Auge umgebenden Gebilden beeinflusst und modificirt. Vor Allem ist es der Nasenvorsprung, welcher auf dieser Seite das Gesichtsfeld einengt, sodann die Orbitalränder, besonders der obere, die Gesichtsknochen, Lider und die äussere Commissur. Je tiefer das Auge liegt, desto mehr werden diese das Auge umgebenden Theile das Gesichtsfeld beschränken.

Bei der Untersuchung des Gesichtsfeldes muss geachtet werden:

a) auf die Grenze desselben;

b) auf etwa vorkommende Scotome.

Scotome sind dunkle Stellen im Gesichtsfelde, welche entweder als dunkle Flecke auf beleuchtetem Grunde zum Bewusstsein kommen und dann positive genannt werden, oder nur als Lücken im Gesichtsfelde vorkommen, welche unter gewöhnlichen Verhältnissen nicht beachtet, und als solche nicht erkannt werden.

Solche Scotome sind entweder centrale, periphere (sectorenförmige) oder ringförmige.

Die letzteren brauchen keinen geschlossenen Ring zu bilden, sondern nur zwischen Centrum und Peripherie eingeschaltet zu sein.

c) Auf die Farbenempfindung, vornehmlich der Gesichtsfeldsperipherie.

Auf die Wichtigkeit der Untersuchung der Gesichtsfeldsgrenzen hat zuerst v. Graefe aufmerksam gemacht und den Zusammenhang zwischen der Beschränkung der Gesichtsfeldsgrenzen mit dem progressiven Sehnervenschwunde aufgedeckt. Seit v. Graefe ist desshalb die Untersuchung jener Grenzen ein unabweisliches Bedürfniss bei allen Arten der Amblyopie geworden.

Die einfachste, Jedermann leicht zugängliche, aber ungenaue und desshalb rohe Methode ist jene, bei welcher der Kranke mit dem Rücken gegen ein gutes Tageslicht einlassendes Fenster gesetzt und angewiesen wird mit einem Auge, während das zweite verschlossen wird, das gleichnamige Auge des Untersuchers zu fixiren.

Nunmehr führt der Untersucher, der ebenfalls sein zweites Auge schliesst und mit dem untersuchenden das zu prüfende Auge fixirt, seine Hand in einer Ebene, welche in der Mitte zwischen ihm und dem zu Untersuchenden liegt, derartig herum, dass die Hand die Grenzen seines eigenen Gesichtsfeldes, deren Richtigkeit in jedem Momente zu controliren ist, beschreibt.

Hiebei ist vorausgesetzt, dass der Untersuchende normale Gesichtsfeldsgrenzen besitze, und dass der Kranke ebenfalls ein normales Gesichtsfeld habe, wenn er die bewegte oder auch ruhende Hand überall dort sieht, wo sie der Untersucher wahrnimmt.

In solcher Weise können grobe Defecte in der Peripherie des Gesichtsfeldes allerdings erkannt, aber kaum nach ihrer Grösse beurtheilt werden.

Eine andere genauere Methode das Gesichtsfeld zu messen, ist jene, welche darin besteht, dass man den zu Untersuchenden in einer Entfernung von 1′ vor eine Tafel setzt, auf welcher ein Fixationszeichen angebracht ist, und während dieses fixirt wird mit einem lichten Gegenstande sich von der Seite her dem Centrum immer mehr nähert, bis etwas von demselben wahrgenommen wird. An dieser Stelle wird eine Marke angebracht. Hat man in solcher Weise die Grenzen des Gesichtsfeldes in einer Reihe von Meridianen gemessen, dann kann man die einzelnen Marken durch Linien verbinden und erhält auf solche Weise eine bildliche Darstellung des Gesichtsfeldes.

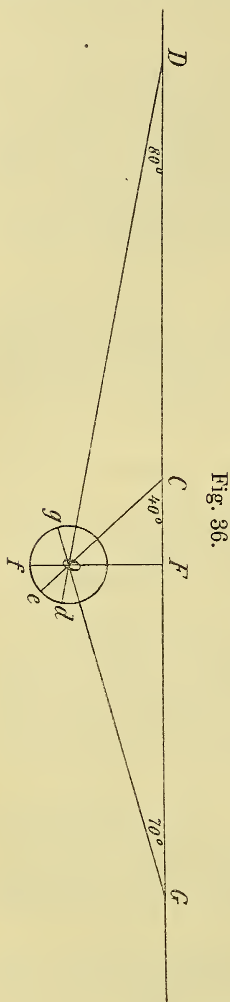


Fig. 36.

Man kann sich, was fast auf dasselbe hinauskommt, statt der Marken kleiner Elfenbeinkugeln bedienen, welche halb weiss, halb schwarz sind und in radiärer Richtung vom Fixationspunkte bis in die Peripherie in Spalten der Tafel verschoben werden können. Der zu Untersuchende, dessen Kinn auf einen krückenartigen Halter festgestellt wird, hat zu bestimmen, an welchem Punkte der Peripherie der ihm zugekehrte lichte Theil der Elfenbeinkugel verschwindet. An dieser Stelle wird die um ihre Axe drehbare Kugel mit dem lichten Theile nach hinten gedreht, so dass sie rückwärts in dem Spalte der Tafel, in welchem sie sich bewegen kann, erscheint. Hat man eine Reihe von Meridianen derart gemessen, so erscheint an der rückwärtigen Fläche der Tafel das Gesichtsfeld von den lichten Kugeln umgrenzt.

Da die Retina eine Hohlkugel darstellt, so ist es selbstverständlich, dass die Fläche, in welche projicirt wird (Kernfläche Hering's) ebenfalls eine halbkugelige Gestalt hat, deren Mittelpunkt im Knotenpunkte des Auges gelegen ist.

Allen Untersuchungsmethoden, bei welchen das Gesichtsfeld auf eine ebene Tafel projicirt wird, müssen desshalb eine Reihe von Mängeln anhaften. Einer der wichtigsten derselben ist, dass die verschiedenen Theile des Gesichtsfeldes aus verschiedenen Entfernungen gemessen werden, und zwar die am periphersten gelegenen Theile der Netzhaut, deren Empfindung am stumpfesten ist, aus der grössten. Ist in Fig. 36 D G die Ebene der Tafel und wird der Punkt F von der Macula des Auges f in 12″ fixirt, so messen wir diese in etwa 12″ (wenn wir die Entfernung des Knotenpunktes von der Netzhaut = 15 mm vernachlässigen). Der Punkt C aber, welcher um 40°, mehr noch aber der Punkt D, welcher um 80° nach aussen von der Macula liegt, ist von der Netzhaut viel weiter entfernt als 12″; denn:

$$O\,C = \frac{O\,F}{\cos .\, 40^0} = 15''{\cdot}66 \qquad O\,D = \frac{O\,F}{\cos\, 80^0} = 69''{\cdot}1.$$

Ein zweiter wichtiger Nachtheil bei dieser Untersuchungsmethode ist der, dass die Tafel über Gebühr lang werden muss, wenn sich das Gesichtsfeld nach beiden Seiten weit hinaus erstreckt.

In Fig. 36 ist $FG = OF \times tg\, 70^0 = 12 \times tg\, 70^0 = 32''{\cdot}97$
und $FD = OF \times tg\, 80^0 = 12 \times tg\, 80^0 = 68''{\cdot}05$
woraus die Länge der Tafel . . . . $= 101''{\cdot}02$,
also mehr als 8′ betragen müsste.

Würde aber das Gesichtsfeld sich beiderseits bis nach 90° erstrecken, so müsste die Tafel unendlich gross sein, weil $tg\, 90^0 = \infty$.

Nun gibt es in der That Fälle, wo das Gesichtsfeld schläfenwärts sich noch 90° erstreckt, also mit der Tafel gar nicht gemessen werden kann.

Die weiteren Mängel dieser Methode sind, dass das zu untersuchende Auge während der Fixation des gegebenen Zeichens nicht controlirt werden kann, wesshalb solche Messungen nur mit grosser Reserve aufzunehmen sind.

Den kleinen Fehler, der entsteht, dass ein auf 12″ accommodirtes Auge, dessen Gesichtsfeld um ein geringes grösser ist, als ein nicht accommodirtes, hat diese Methode mit der sogleich zu besprechenden neueren gemeinschaftlich.

Allen Anforderungen an einen correct messenden Apparat genügt der Perimeter von Förster.

Derselbe zeigt folgende Construction:

Auf einem festen, aus hartem Holz gefertigten Fuss ist an einem Ende eine vertical stehende Eisenstange befestigt, an deren oberem Ende ein gusseiserner Halbring von 12″ Halbmesser nach vorne hin und nach hinten eine Metallscheibe mit einer Gradeintheilung angebracht sind. Der Stift, mittelst dessen der eiserne Bogen mit der Stange in Verbindung gebracht ist, läuft durch ein Loch derselben beweglich durch, durchbohrt den Mittelpunkt der Scheibe und ist mit dem Zeiger der Graduirung derart fest verbunden, dass die Bewegungen des Bogens um eine mit dem Stifte verlaufende ideale Axe von dem Zeiger nach Winkelgraden gemessen werden können. Steht der Bogen horizontal, dann steht der Zeiger vertical auf 0. Der Bogen ist ein Theil der Mantelfläche eines halben Cylinders, hat eine Höhe von etwa 4″ und ist auf seiner concaven Seite von rechts nach links hin in 180 gleiche Theile eingetheilt und zwar derart, dass die Mitte des Bogens mit 0 bezeichnet ist und nach rechts und nach links die Eintheilung bis 90° reicht. An der hinteren Fläche des Bogens verläuft in Rinnen eine ewige Schnur, welche über Rollen läuft, die an beiden vorderen Enden des Bogens und zwischen Bogen und Scheibe angebracht sind.

Eine ebenfalls in der Mitte der Scheibe angebrachte Kurbel dreht die letztgenannte Rolle und mit dieser die Schnur. An dieser Schnur ist eine mit derselben sich bewegende Klemme befestigt, in welche das Prüfungsobject, gewöhnlich eine schwarze Platte mit einem elfenbeinernen Quadrate von 1—2 cm Seite, steckt. Am vorderen Ende des Fussbrettes ist, 12″ vor der ersterwähnten Stange, eine hölzerne Stütze angebracht, welche an ihrem oberen Ende zwei rundliche Vertiefungen trägt, in welche das Kinn des zu Untersuchenden gestemmt wird. Diese Kinn-

stütze ist je nach Bedarf vertical verschiebbar und festzustellen. Ausserdem verschiebt sich mit derselben ein etwas nach vorne gebogener Stab, dessen oberes Ende dazu bestimmt ist, an den unteren Orbitalrand angelegt zu werden, um Drehungen des Kopfes um die verticale Axe zu verhindern. Vom Fusse der Kinnstütze geht ein um denselben als verticale Axe beweglicher, nach vorne gekrümmter gusseisener Stab, dessen oberes Ende bis über die Gradeintheilung des Bogens reicht und mittelst einer Klemme eine etwa erbsengrosse Glasperle trägt, welche als Fixationsobject benutzt wird. Der Stab ist derart gekrümmt, dass mit demselben die Perle knapp vor der Eintheilung im Kreise herumgeführt werden kann.

Nach Förster wird nämlich der Nullpunkt des Perimeters nicht zur Fixation benutzt, sondern die 15° nasenwärts gestellte Perle, wobei der Nullpunkt dem Mittelpunkte des blinden Fleckes entspricht. Die Gründe, die Förster hiezu bestimmt hatten, waren die, dass der blinde Fleck eher als die Fovea centralis der Mitte des Gesichtsfeldes entspricht, welches sich vom letzteren viel weiter temporal- als nasenwärts ausdehnt; ferner der Umstand, dass eine grössere Uebereinstimmung mit der Augenspiegeluntersuchung, bei welcher doch die Papille den Ausgangspunkt bildet, hergestellt wird.

Die Untersuchung wird in einem Zimmer abgehalten, welches von zwei Fenstern beleuchtet ist, und der zu Untersuchende setzt sich mit dem Rücken gegen die Fenster vor das Instrument, das nicht untersuchte Auge wird mit einer Binde geschlossen und das Kinn in die ungleichnamige Hälfte des Kinnhalters hineingedrückt. Hierauf wird der Stab mit der Perle um 15° nasenwärts gestellt und der Kranke angewiesen, die Perle unaufhörlich zu fixiren.

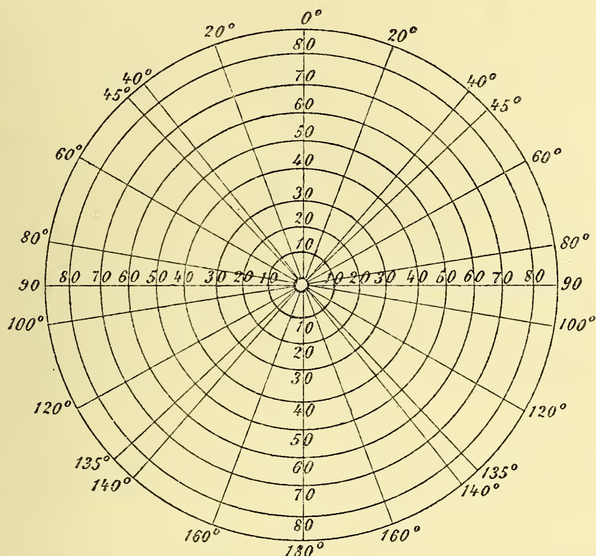
Will man, was gewöhnlich zuerst geschieht, die Ausdehnung des Gesichtsfeldes im horizontalen Meridian bestimmen, so wird der Perimeterbogen genau horizontal gerichtet, was, wie schon früher erwähnt, dann der Fall ist, wenn der Index auf dem Nullpunkte steht.

Nun stellt sich der Untersucher hinter das Instrument, controlirt die Fixation des zu untersuchenden Auges und dreht nun die Kurbel nach rechts, so dass das am äussersten Ende des rechten Armes des Instrumentes befindliche Gesichtsobject gegen die Richtung des Nullpunktes verschoben wird. Sowie dasselbe in das Gesichtsfeld eintritt, wird sein Stand am Gradbogen abgelesen und entweder notirt oder mittelst eines Punktes auf einem eigens construirten Diagramme vermerkt.

Dieses Diagramm ist derartig eingerichtet (siehe Fig. 37), dass 9 concentrische und gleichweit von einander abstehende Kreise um einen Mittelpunkt gelegt sind, durch welchen Durchmesser des grössten Kreises gezogen sind, von welchen zwei benachbarte je einen Winkel von 20° einschliessen, so dass die Figur von zehn Durchmessern durchschnitten wird. Ausserdem kann noch der 45. respective der 135.° durch je einen Durchmesser beiderseits bezeichnet werden. Der Durchschnitt der concentrischen Kreise mit dem verticalen und horizontalen Durchmesser wird vom Centrum aus mit den um zehn steigenden Zahlen von 10—90 bezeichnet. Ebenso wird an der äusseren Peripherie der Durchschnittspunkt der Diameter mit dem äussersten Kreise mit Zahlen versehen, welche Winkelgrade ausdrücken. An die beiden Enden des

horizontalen Durchmessers wird die Zahl 90, an das obere Ende des verticalen Durchmessers 0, an das untere Ende desselben 180 gesetzt. Die dazwischen liegenden Punkte werden vom Nullpunkt aus beiderseits mit 20, 40, 60 etc. fortlaufend bezeichnet.

Fig. 37.



Solche Diagramme sind weder die Projection einer Halbkugel auf eine Ebene, noch stellen sie eine Ausbreitung einer solchen auf eine Ebene dar. Für Bestimmungen der Gesichtsfeldsgrenzen eignen sich dieselben vollkommen gut, dagegen erscheinen Defecte im Gesichtsfelde verzerrt, da sie in meridionaler Richtung stärker verkleinert werden als in aequatorialer. Die Projection einer Halbkugel auf eine Ebene breitet sich in meridionaler Richtung eben viel stärker aus.

Aehnlich wie das Perimeter von Förster sind die anderen in Gebrauch gekommenen und weichen nur in wenigen unwesentlichen Punkten von dem Förster'schen Muster ab.

So ist der Perimeterbogen von Landolt an seiner äusseren Seite in Grade getheilt, an seiner inneren aber 20° vom Nullpunkt nach beiden Seiten und ausserdem vertical auf diese Eintheilung in mehrere Grade getheilt, um Ausfälle im Gesichtsfelde, welche um den Fixationspunkt herum stattfinden, leichter messen zu können. Die eigene Fixationseinrichtung fehlt, weil der Nullpunkt des Bogens fixirt wird. Die Kinnstütze ist um ihre verticale Axe drehbar, damit der Einfluss der Nase eliminirt werden kann.

Das Instrument von Carter besteht nur aus einem Quadranten und trägt an seinem Nullpunkte eine durchlöcherte Scheibe, durch welche der zu Untersuchende ein fernes Object fixiren kann. Damit wird der Einfluss der Accommodation auf das Gesichtsfeld ausgeschlossen.

Dagegen muss bei der Messung eines jeden Meridians das Instrument zweimal gedreht werden.

Auch das Instrument von Scherk, welches eine innen geschwärzte und in zwei Theile aufzuklappende halbe Hohlkugel darstellt, hat kein stellbares Fixationsobject, sondern es wird wie bei allen letztgenannten Perimetern vom Nullpunkte aus gemessen.

Eine eigenthümliche Construction hat das selbst regristrirende Perimeter von Blix, welches aus einem massiven Träger besteht, der hinter dem Kranken an die Sessellehne angeschraubt wird und mit einer Pelotte versehen ist, an welche der Kopf des zu Untersuchenden sich stützt. Der Stift, welcher die Pelotte festhält, soll in der Verlängerung der Augenaxe liegen. Um diesen ist ein Stab drehbar, welcher beim Messen des horizontalen Meridianes vertical steht und einem Arm zur Stütze dient, an dessen vorderem Ende ein kleines Spiegelchen vertical angebracht ist und welches über den Kopf des Patienten nach vorne geht. Dem Mittelpunkte des Auges entsprechend, trägt dieser Arm einen kurzen Zapfen, um welchen ein zweiter Stab, dessen vorderes Ende zur Aufnahme eines Messobjectes eingerichtet ist, drehbar ist. Als Fixationsobject dient das Spiegelbild der Pupille des zu Untersuchenden. Eine Vorrichtung zum Markiren der zu notirenden Stellungen des Messobjectes ist mit dem Instrumente in Verbindung.

Eine ähnliche Vorrichtung zum Registriren durch das Instrument selbst hat Meyerhausen zum Förster'schen Perimeter construirt.

Bei der Untersuchung des Gesichtsfeldes ist es immer von Vortheil, das Prüfungsobject von der Peripherie aus gegen das Centrum zu führen und nicht umgekehrt, weil im ersteren Falle die Fixation leichter festgehalten wird und das Urtheil darüber, ob ein Object, welches auf den weniger empfindenden Netzhauttheilen abgebildet wird, das Gesichtsfeld verlässt oder in dasselbe eintritt, im letzteren Falle ein schärferes ist als im ersteren.

Ist die Sehschärfe derartig herabgesetzt, dass die Fixation nicht möglich ist, oder besteht gar ein centrales Scotom, so kann man im ersteren Falle das Licht einer Wachskerze oder in beiden Fällen die Spitze des Zeigefingers des Kranken selbst an den Nullpunkt der Gradeintheilung bringen lassen, wobei man diesen anweisen muss, sein Auge in die Richtung des Fingers zu bringen. Gewöhnlich genügt eine solche Anweisung, um das Auge während der Untersuchung in Ruhe zu erhalten.

Die Resultate der Messungen der Gesichtsfeldsgrenzen mit allen jenen Messapparaten, welche auf dem richtigen Principe der Kugelfläche hergestellt sind, ergeben fast übereinstimmende Resultate sowohl in Bezug auf die normalen Grenzen des weissen als auch des farbigen Lichtes. Die Unterschiede, die sich bei letzterem ergeben, hängen von der Ungleichheit und der Ungleichmässigkeit des Pigmentes ab, mit welchem untersucht wurde.

Wir wollen hier die Zahlen (Mittelzahlen) von Förster und von Landolt (letztere bei Emmetropie) hersetzen, beide von der Papille aus gerechnet:

	Förster.		Landolt (bei Emmetropie).		
nach oben	45°	110°	. . . . .	55°	120°
„ unten	65°		. . . . .	65°	
„ aussen	70°	130°	. . . . .	85°	135°
„ innen	60°		. . . . .	50°	
40° „ oben aussen	50°	106°	bei 45° .	65_0	110°
140° „ unten innen	56°		„ 135° .	45°	
40° „ oben innen	50°	125°	„ 45° .	50°	135°
140° „ unten aussen	75°		. . . . .	85°	

Andere Untersucher haben gefunden, dass das Gesichtsfeld bei Myopie kleiner, bei Hypermetropie grösser sei als bei Emmetropie.

In jedem Auge befindet sich eine Stelle, mit welcher wir nicht sehen, welche also als ein physiologisches Scotom bezeichnet werden kann, es ist dies der blinde oder Mariotte'sche Fleck, welcher der Eintrittsstelle des Sehnerven entspricht. Diese liegt nach innen und etwas nach oben von der Fovea centralis, der blinde Fleck ist desshalb nach aussen und etwas nach unten vom Fixationspunkte gelegen.

Seine Lage, Form und Grösse kann in verschiedener Weise, am besten mit dem Perimeter, bestimmt werden.

Will man den blinden Fleck auf eine Ebene entwerfen, so muss man ein Auge verschliessen und dem zu Untersuchenden ein Fixationsobject, einen Punkt oder ein kleines Kreuz, darbieten. Am besten geschieht die Projection auf eine senkrechte Ebene.

Während nun das Auge fixirt, wird von der Schläfe her ein lichter Gegenstand im horizontalen Meridiane nach innen zu geführt. Beim Weiterführen verschwindet das Object, um weiter nach innen wieder aufzutauchen.

Die Punkte, wo es verschwindet und wieder auftaucht, werden markirt und ihre Verbindungslinie bildet den horizontalen Durchmesser des blinden Fleckes.

Der Mittelpunkt dieser Linie ist das Centrum des blinden Fleckes und von hier aus lassen sich die übrigen Grenzen desselben dadurch bestimmen, dass das Probeobject von diesem Centrum aus nach allen Richtungen hin geführt und sein Erscheinen jedesmal markirt wird. Die Verbindungslinie aller dieser Punkte bildet den Contour des Mariotteschen Fleckes.

Bei einer solchen Zeichnung hat man den Vortheil, dass man aus der Grösse der Projection und ihrer Entfernung vom Fixationspunkte, aus der Entfernung der Ebene vom Auge und aus dem hinteren Knotenpunktsabstande direct die Grösse der Papille berechnen kann.

Verbinden wir den Mittelpunkt der Projection des blinden Fleckes mit dem Fixationspunkte durch eine gerade Linie, verlängern wir dieselbe bis an den temporalen Rand der Zeichnung, so mag dieselbe mit δ bezeichnet werden.

Kennen wir ferner die Entfernung zwischen Fixation und medialem Grenzpunkt der Zeichnung $\delta_,$, ist die Entfernung des Knotenpunktes von der Ebene der Zeichnung $=$ f und die hintere Knotenpunktsentfernung der Netzhaut $= G_{,,}$, bezeichnen wir das Bild von δ auf der Netzhaut mit D und das Bild von $\delta_,$ mit $D_,$, so verhält sich:

$$\frac{\delta_{,}}{G_{,,}} = \frac{\delta}{D} = \frac{\delta_{,}}{D_{,}}.$$

Bezeichnen wir vorläufig den Durchmesser der blinden Fleckes mit x, so ist

$$\frac{\delta_{,}}{D_{,}} = \frac{\delta - x}{D_{,}} = \frac{\delta}{D},$$

also

$$D\,(\delta - x) = \delta D_{,}$$

$$\delta\,(D - D_{,}) = x\,D$$

$$\frac{\delta}{D} = \frac{x}{D - D_{,}} = \frac{\delta - \delta_{,}}{D - D_{,}} = \frac{f}{G_{,,}}$$

und hieraus

$$D - D_{,} = \frac{G_{,,}\,(\delta - \delta_{,})}{f}.$$

Nach dieser Formel wurde von den verschiedenen Untersuchern der Durchmesser der Papille berechnet und zwischen 1·5 mm bis 2·1 mm gefunden.

Aber auch bei der perimetrischen Untersuchung ist diese Grösse leicht aufzufinden, da man dabei den Winkel kennen lernt, um welchen je ein Punkt des blinden Fleckes vom Fixationspunkte absteht, und desshalb nur die Sehne des Bogens zu finden ist, welchen dieser Winkel auf der Netzhaut beschreibt.

Diesen Winkel finden wir, indem wir den Punkt, wo das Probeobject verschwindet und wieder auftaucht, vom Gradbogen ablesen. Selbstverständlich ist dabei genaueste Fixation des hiezu bestimmten Objectes nothwendig. Ist z. B. der Winkel zwischen Mittelpunkt des blinden Fleckes und Fixationspunkt $= \xi$, so wird das Bild dieser Distanz auf der Netzhaut die Sehne eines Bogens bilden von dem Winkelgrade ξ.

Da die halbe Sehne gleich ist dem Halbmesser multiplicirt mit dem Sinus des halben Winkels, so wird die ganze Sehne das Doppelte dieses Werthes haben.

In unserem Falle ist der Radius gleich der hinteren Knotenpunktsdistanz der Netzhaut $G_{,,}$, es wird demnach der Ausdruck für das Bild der erwähnten Distanz sein:

$$2\,G_{,,}\,\sin\frac{\xi}{2}.$$

In derselben Weise kann aus dem Winkel, welchen der horizontale Durchmesser des blinden Fleckes auf dem Perimeter bildet, die Grösse der Papille gefunden werden.

Die Grösse des Winkels, den der blinde Fleck beschreibt, ist bei verschiedenen Refractionszuständen eine verschiedene. Im Durchschnitte beträgt dieselbe etwa 5^{0}.

Ebenso wie die Functionen des Centrums der Netzhaut, sollte man die der Peripherie derselben prüfen können. Es sind jedoch die Methoden zu dieser Richtung nicht so ausgebildet, wie die Prüfung des Netzhautcentrums.

Zu prüfen sind erstens der Form- oder Raumsinn, zweitens der Lichtsinn und drittens der Farbensinn der Netzhautperipherie.

Der Formsinn der Netzhaut wurde bisher nur zu physiologischen Zwecken untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen waren im Allgemeinen übereinstimmend und lieferten das Resultat, dass der Formsinn der Netzhaut in horizontaler Richtung sowohl nach aussen als nach innen besser ausgebildet ist, als nach oben oder unten, resp. dass sich die schärfere Unterscheidung in ersteren Richtungen weiter in die Peripherie erstreckt, als in den letzteren.

Eine genauere Methode, als die bis dahin verwendeten, und eine solche, die vielleicht auch zur Beurtheilung pathologischer Zustände in Gebrauch gezogen werden könnte, ist die nach dem Vorgange von Aubert und Förster durch Landolt und Ito verbesserte perimetrische Methode. Als Probeobjecte dienten je zwei Quadrate, deren Seiten gleich waren der Dicke der Probebuchstaben von Snellen Nr. XX, XXX, L und LXX. Die Zwischenräume der Quadrate waren ebenso gross als diese selbst.

Die Augen der Untersucher, welche eine Sehschärfe von $^{30}/_{20}$ hatten, erkannten die Quadrate

von	XX	als	2	getrennte	in	14′ Entfernung
„	XXX	„	„	„	„	22′ „
„	L	„	„	„	„	35′ „
„	LXX	„	„	„	„	48′ „

mit dem Netzhautcentrum.

Das gleichmässige Ergebniss der Untersuchung durch beide Untersucher war, dass der Formsinn der Retina auf ihrem oberen, oberen äusseren und inneren Theile am besten ausgebildet ist, während er am schwächsten auf dem äusseren und unteren Theile entwickelt ist. Dies sind dieselben Richtungen, nach welchen, wie das Gesichtsfeld in umgekehrtem Sinne zeigt, die Grenzen der Empfänglichkeit der Netzhaut hereinrücken. Der gemeinschaftliche Grund dieser Erscheinungen kann kein anderer als der der mangelhaften Uebung sein.

Der Lichtsinn der Netzhautperipherie wurde von Aubert derart geprüft, dass ein weisses Quadrat auf schwarzem Grunde von 1″ Seite von dem Lichte eines Fensters gut beleuchtet, derartig angebracht wurde, dass Fixirobjecte, welche je um 25° von einander entfernt und in einem Kreise von 1 m Halbmesser angeordnet waren, hinter einander ins Auge gefasst und die Helligkeit des excentrisch gelagerten Bildes der Scheibe geprüft wurde. Es stellte sich heraus, dass, wenn auch die Scheibe in der Peripherie etwas dunkler erschien als central, was sich aus vielen anderen Umständen erklären liess, im Allgemeinen der Lichtsinn auf der ganzen Netzhaut gleichmässig vertheilt sei. Snellen und Landolt schlagen vor, diese Prüfung am Perimeter mit einer beweglichen, regulirbaren Lampe oder mit einer Masson'schen Scheibe vorzunehmen.

Für practisch oculistische Zwecke besteht demnach keine verwendbare Methode der Lichtsinnsmessung der Netzhautperipherie. Die Farbenprüfung der Netzhautperipherie wurde anfänglich derartig vorgenommen, dass in den Läufer des Perimeters Scheiben oder Quadrate von farbigem Papier eingeklemmt, dieser aus der Peripherie gegen das Centrum, welches fixirt wurde, geführt und die Stelle beobachtet wurde, an welcher das Auge die Farbe erkannte. Bei dieser Prüfung zeigte es sich, dass nicht alle Farben dieselben Aussengrenzen hatten, sondern

dass Blau und Gelb am weitesten nach aussen, dann Roth, schliesslich am weitesten nach innen Grün erkannt wurde; ausserhalb dieser Grenzen erschienen die Farben in anderen Tönen, im Allgemeinen aber auf dunklem Grund licht, auf lichtem dunkel.

Aus vielen Beobachtungen liess sich folgende Tabelle zusammenstellen:

	Blau	Roth	Grün
Oben	45°	40°	30—35°
Aussen	65°	60°	40°
Unten	60°	50°	35°
Innen	60°	50°	40°

Schelske hatte mit einem eigens construirten Apparate seine Netzhaut mit Spectralfarben untersucht, wobei sich herausstellte, dass es eine „rothblinde Zone“ gäbe, welche von oben und unten her viel weiter von der Peripherie hereingreife, als von aussen und innen.

Es wäre für die Farbenprüfung aus Gründen, die wir später bei der Untersuchung der Farbenempfindungen kennen lernen werden, vortheilhafter, statt mit Pigmentfarben die Netzhautperipherie mit Spectralfarben zu untersuchen. Es ist jedoch ein Apparat, welcher solche Farben über verschiedene Theile der Netzhaut leiten könnte, zur Zeit noch nicht gefunden worden. Snellen und Landolt schlagen desshalb vor, eine aus einem Spectrum isolirte Farbe durch einen Spiegel auf den Nullpunkt des Perimeterbogens reflectiren zu lassen und nun, indem das Auge hinter einander gelegene Punkte der Peripherie des Bogens fixirt, denjenigen zu bestimmen, bei welchem die Farbe nicht mehr wahrgenommen wird.

Aus dem Umstande, dass die Farben verschiedene Grenzen ihres Erkanntwerdens zeigen, glaubte man anfangs schliessen zu müssen, dass die Perceptionsfähigkeit der Netzhaut für Farben eine verschieden abgestufte sei, so dass die äusserste Peripherie gar keine Farbenempfindlichkeit, die mittleren Partien aber in der früher bezeichneten Reihe eine verschiedene Empfänglichkeit für Farben darbieten.

Schliesslich aber kam man zur Erkenntniss, dass die ganze Netzhaut Empfänglichkeit für Farben besitze, nur sei dieselbe eine gegen die des Centrums wesentlich abgestumpfte. Man braucht nämlich entweder grosse Farbenflächen oder kleine und sehr intensiv beleuchtete der Netzhautperipherie darzubieten, damit dieselben auch richtig erkannt werden.

---

6. Capitel.

Die Untersuchung der Augenbewegungen.

§ 51. Der Augapfel wird von sechs Muskeln bewegt, welche sich an seiner Oberfläche ansetzen und derart zu ihm gelagert sind, dass er nach allen Richtungen um einen fixen Punkt, den Drehpunkt (siehe Einleitung pag. 20), bewegt werden kann.

Von diesen sechs Muskeln entspringen bekanntlich fünf an der Spitze der pyramidenförmigen Orbita, während einer, der Obliquus inferior, an dem vorderen Theile der inneren Wand der Augenhöhle entspringt.

Man kann die den Augapfel bewegenden Muskeln mit Vortheil und, um Missverständnissen vorzubeugen, als exteriore bezeichnen und im Gegensatz zu diesen die in der Höhle des Bulbus angebrachten Muskeln interiore nennen.

Diese sechs Muskeln sind: der Rect. sup., Rect. infer., Rect. intern. oder medialis und Rect. extern. oder lateralis (temporalis), dann der Obliquus superior (trochlearis) und der Obliquus inferior.

Der Verlauf der Mm. rect. von ihrem Ursprunge bis zu ihrem Ansatze am Bulbus ist im Ganzen ein ziemlich gleichmässiger. Der obere Schiefe jedoch verläuft nur in der Augenhöhle mit den geraden Augenmuskeln, wird in der Nähe des Orbitalrandes sehnig, läuft über eine im inneren oberen Winkel des Orbitalrandes sitzende fibröse Rolle, um sich nach hinten und aussen zu wenden und unterhalb der Sehne des Rect. superior seinem Ansatze an der hinteren Peripherie des Bulbus zuzustreben. Der Obliquus inferior, der, wie erwähnt, an dem vorderen Ende der inneren Augenhöhlenwand entspringt, verläuft bogenförmig nach hinten und aussen zum Augapfel, geht unter dem vorderen Ende des M. rect. infer. hindurch, um sich beinahe an dieselbe Linie wie der Obliquus super. von unten her anzusetzen.

Die exterioren Augenmuskeln sind verschieden stark und zeigen desshalb einen verschiedenen Querschnitt.

Nach den Messungen Volkmann's zeigen die Querschnitte der Muskelbäuche der Recti folgende absteigende Reihe des Maasses:

Rect.	medial.	=	17·39	qmm
„	lateral.	=	16·73	„
„	infer.	=	15·85	„
„	super.	=	11·38	„

Das Gewicht der Mm. rect. fand Volkmann übereinstimmend mit ihrem Querschnitte:

Rect.	medial.	=	0·747	g
„	lateral.	=	0·715	„
„	infer.	=	0·671	„
„	super.	=	0·514	„

Die Angaben Volkmann's in Bezug auf die Stärke der Muskeln widersprechen jedoch den Behauptungen der Anatomen, dass der M. lateralis der stärkste sei. So wiegt dieser nach Bischoff 0·7 g, während alle übrigen nur 0·5 g wiegen sollen.

Auch die Länge des Verlaufes der Recti von ihrem Ursprunge bis zu ihrem Ansatze hat Volkmann gemessen und folgende Reihe aufgestellt:

Rect.	super.	=	41·08	mm
„	medial.	=	40·8	„
„	lateral.	=	40·6	„
„	infer.	=	40·0	„

Der Ansatz der exterioren Augenmuskeln an den Bulbus ist besonders für die operative Augenheilkunde von grosser Wichtigkeit, und wir wollen desshalb, die anatomischen Verhältnisse als bekannt voraussetzend, nur die Länge der Sehnen und den Abstand der Insertionen derselben von der Hornhaut hierher setzen.

Die Länge der Sehne des M. rect. superior	beträgt	5·8 mm
„ „ „ „ „ „ „ inferior	„	5·5 „
„ „ „ „ „ „ „ medialis	„	8·8 „
„ „ „ „ „ „ „ lateralis	„	3·7 „
„ „ „ „ „ „ obliqu. inferior	„	2·8 „
„ „ „ „ „ „ „ superior	„	19·5 „

Die Entfernung des Ansatzes der Sehne von der Hornhaut hat jüngstens Merkel wegen widersprechender Angaben wiederholt gemessen, und folgende Reihe, welche mit den Resultaten Krause's in guter Uebereinstimmung ist, gefunden

M. rect. super.	8 mm
„ „ infer.	7·2 „
„ „ medial.	6·5 „
„ „ lateral.	6·8 „
„ obliqu. super.	16·8 „
„ „ infer.	17·3 „

Selbstverständlich beziehen sich diese Zahlen auf die Mitte des Sehnenansatzes, in dem derselbe verschieden gestaltet ist. So ist der Sehnenansatz des M. r. sup., mehr noch aber der des M. r. lateral. bogenförmig gekrümmt. Auch der M. r. medialis zeigt an seinem Ansatze eine gegen die Cornea gekrümmte Linie. Während jedoch die Bogenlinie der erst genannten Ansätze eine regelmässige ist, so dass die beiden Enden derselben gleich weit von der Hornhaut abstehen, liegt das obere Ende der Sehne des M. r. medial. viel näher dem Hornhautrande als das untere. Der Ansatz des M. r. infer. bildet fast eine gerade Linie, ebenso der gemeinschaftliche Ansatz der beiden Mm. obliqui, welcher eine von unten und innen nach oben und aussen gerichtete Linie darstellt.

Die Länge dieser Muskelansätze ist desshalb schwer zu bestimmen, weil die Sehnen nicht nur nach hinten gegen den Bulbus, sondern auch an beiden Kanten Verstärkungsfasern (sogenannte Adminicula) führen, welche sich zu beiden Seiten derselben mit der Sclerotica verbinden und von variabler Ausdehnung sind.

In der Ruhelage der Augen, welche dann erreicht ist, wenn kein Bewegungsbestreben einen Muskel stärker innervirt, stehen dennoch alle Muskeln unter der Herrschaft eines bestimmten Tonus.

Diese Gleichgewichtslage ist bei einer grossen Anzahl von Menschen, besonders solchen von emmetropischer Refraction, dann vorhanden, wenn die Augen ein in der horizontalen Blickebene liegendes und sehr entferntes Object betrachten.

Bei einer beträchtlichen Anzahl von Menschen ist diese Ruhelage aber erst dann gegeben, wenn der Blick etwas divergirt oder convergirt, wie dies später genauer auseinandergesetzt werden wird.

Soll das Auge aus der Ruhelage in eine andere überführt werden, so wird jener Muskel oder jene Muskelgruppe, durch welche diese Bewegung hervorgerufen werden kann, stärker innervirt und diese vermehrte Innervation auch dann noch festgehalten, wenn das Auge in seiner neuen Lage schon angelangt ist. Durch die Bewegung in eine bestimmte Richtung werden nämlich alle anderen Muskeln mehr oder weniger passiv gespannt und bringen sich in solcher Weise am Ende

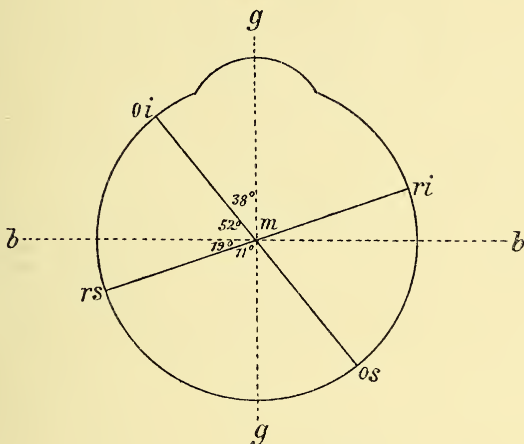
der Bewegung mit dem bewegenden Muskel ins Gleichgewicht. Jede andere als die primäre Ruhelage des Auges kann also nur unter erhöhter Innervation eines einzelnen Muskels oder einer Muskelgruppe festgehalten werden.

Das Auge kann um feste oder sogenannte augenblickliche oder instantane Axen gedreht werden.

Feste Axen sind jene, um welche die Drehung von ihrem Beginne bis zu ihrem Ende ausgeführt wird. Denken wir uns einen Erdglobus, welcher um eine die beiden Pole verbindende Linie gedreht werden kann, so stellt dies eine Bewegung um eine feste Axe dar.

Augenblickliche Axen sind solche, welche in jedem Momente der Drehung wechseln. Wenn wir uns zwei Kegel vorstellen, welche mit ihrer Spitze und einer Seite ihrer Mantelflächen an einander liegen, gegenseitig über einander rollend, so stellt die Linie der Mantelfläche, längs welcher sie sich berühren, die Axe der Rollung dar, welche demnach in jedem Momente der Drehung wechselt.

Fig. 38.



Die Drehungen um feste Axen geschehen um sogenannte Halbaxen, deren zwei zu einander gehörige fast in einer und derselben Linie liegen.

Eine im Drehpunkte auf die Richtung der Halbaxe senkrecht gelegte Ebene wird Muskel- oder Zugebene genannt, indem in derselben die Resultirende des bewegenden Muskels liegt.

Um zu erfahren, um welche der beiden zusammengehörigen Halbaxen die Drehung erfolgt, braucht man das Auge nur in der Richtung der Halbaxen zu betrachten.

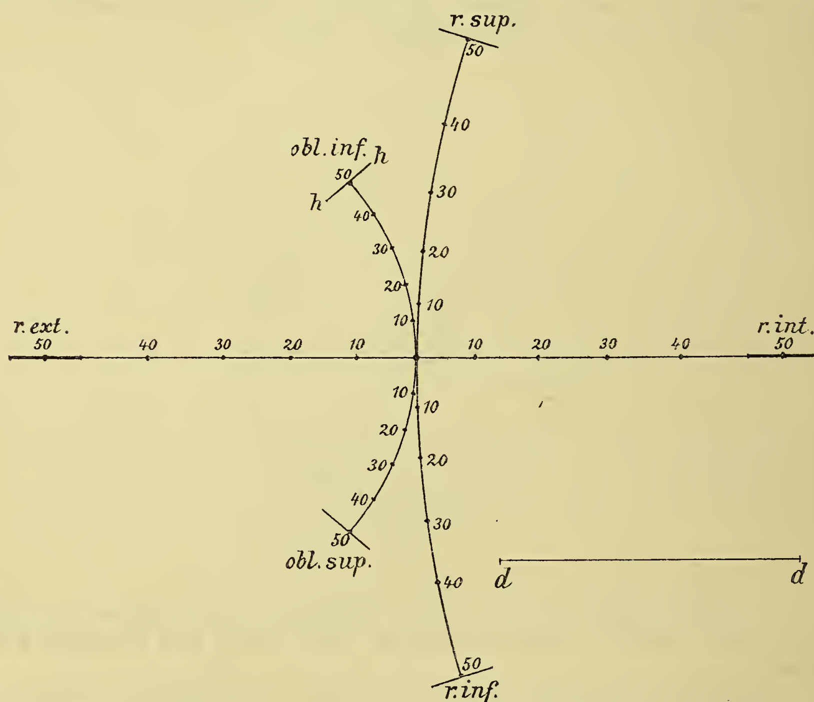
Dreht sich das Auge dann im Sinne des Zeigers einer Uhr, so ist es die Halbaxe, deren Durchschnitt mit dem Auge man betrachtet hat.

Die sechs exterioren Augenmuskeln treten in solcher Richtung gegen den Augapfel, dass der M. r. lateral. die Gesichtslinie nach aussen, der M. r. medial. nach innen, der M. r. super. nach innen und oben, der M. r. infer. nach innen und unten, der M. obliqu. super. nach unten und aussen und der M. obliquus infer. nach oben und aussen führt.

Die Halbaxen der beiden erstgenannten Muskeln sind vertical gerichtet und berühren sich selbstverständlich im Drehpunkte. Die Gesichtslinie steht auf ihnen senkrecht. Die Axen der anderen Recti und der Obliqui liegen beide horizontal, jedoch derartig, dass sie sowohl mit der Gesichtslinie als auch mit dem mittleren horizontalen Querdurchmesser des Auges Winkel einschliessen. In Fig. 38 sind diese Axen mit rs und ri und os und oi bezeichnet. Die Linie m — rs ist die Halbaxe für den Rect. super., m — ri die Halbaxe für den Rect. infer., m — os die Halbaxe für den Obliqu. super. und m — oi diejenige des Obliquus infer., wobei m den Drehpunkt des Auges bildet.

Mit dem horizontalen Querdurchmesser des Auges bildet die Axe der Recti einen Winkel von 19°, mit der Gesichtslinie also einen solchen

Fig. 39.



von 71°, die Axe der Obliqui bildet mit jenem Querdurchmesser einen Winkel von 52°, also mit der Gesichtslinie einen solchen von 38°.

Keiner der genannten Muskeln kann desshalb das Auge nach oben oder unten um die horizontale Axe drehen, sondern nur derartig, dass es gleichzeitig eine Bewegung um die Gesichtslinie macht. Diese Nebenwirkung haben die Obliqui in viel höherem Grade als die Recti.

In Fig. 39 sind die Bahnen verzeichnet, welche die Gesichtslinie auf einer verticalen Ebene beschreibt, wenn das rechte Auge von den einzelnen Muskeln bewegt wird. Die Linie dd stellt dabei die Entfernung der verticalen Ebene vom Drehpunkte dar, die queren Linien am Ende der Bahnen die Stellung des horizontalen Netzhautmeridianes

am Ende der Bewegung. Die Linien entsprechen nach allen Richtungen einer Bewegung des Auges um 50°. Hiebei zeigt sich, dass die Ausdehnung der Bewegung nach rechts und links die grösste sei und der horizontale Meridian auch in diesen äussersten Augenstellungen horizontal liege. Die Bahn der beiden Recti ist etwas kürzer, weil leicht gekrümmt und der horizontale Netzhautmeridian nach oben etwas nach links vom Auge, nach unten etwas nach rechts gedreht. Die Bahn der Obliqui ist die kürzeste und der Quernetzhautmeridian bei Wirkung des Obliquus infer. stark nach rechts (vom Auge), bei Wirkung des Obliquus super. stark nach links gedreht.

Es zeigt sich demnach, dass durch die Einzelwirkung der exterioren Augenmuskeln eine einfache Drehung des Auges nach rechts und links (M. r. externus und internus) erfolgen könne, dass aber die hebenden und senkenden Muskeln bei ihrer Einzelwirkung gleichzeitig eine Rollung um die Gesichtslinie herbeiführen, so dass eine reine Erhebung oder Senkung um die horizontale Axe durch keinen der einzelnen Muskeln bewirkt werden kann. Es ist sichergestellt, dass bei der Erhebung des Blickes der Rect. super. mit dem Obliquus infer. und bei Senkung des Auges der Rectus infer. mit dem Obliquus super. zusammenwirken. Hiebei summiren sich die Kräfte (Drehungsmomente), welche das Auge nach oben resp. nach unten führen, während die Rollungen um die Gesichtslinie als entgegengesetzte einander aufheben.

Das Auge kann jedoch nicht nur nach den beiden Seiten und nach oben und unten, sondern nach allen möglichen Richtungen gedreht werden und folgt dasselbe hiebei im engeren Blickraume*) (Hering) und bei parallelen Gesichtslinien dem von Listing aufgestellten Bewegungsgesetze.

Das Gesetz von Listing lautet: Es gibt eine Stellung des Auges, **Primärstellung**, von welcher aus dasselbe um feste Axen nach allen Richtungen gedreht werden kann, und zwar derart, dass die Gesichtslinie sowohl bei Beginn als am Schlusse der Bewegung auf der Axe senkrecht steht.

Dieser Forderung wird nur dann entsprochen, wenn die Ebene, in welcher alle Axen liegen, um welche das Auge entsprechend diesem Gesetze gedreht werden kann (die primäre Axenebene, Hering), im Drehpunkte vertical auf die Gesichtslinie errichtet gedacht wird.

Wird das Auge aus der Primärstellung durch Drehung um eine primäre Axe in eine andere Stellung überführt, welche Secundärstellung genannt wird, so kann es aus dieser letzteren in eine dritte Stellung gedreht werden und zwar ebenfalls durch Drehung um feste Axen; diese sind jedoch keine primären sondern secundäre Axen, das sind solche, welche alle zusammen in einer verticalen, durch den Drehpunkt gehenden Ebene liegen, die mit der Gesichtslinie keinen rechten Winkel bildet.

Während die Gesichtslinie bei Drehungen um primäre Axen stets nur eine Ebene beschreibt, bildet dieselbe bei den Drehungen um secundäre Axen zuweilen ebenfalls eine Ebene, zuweilen aber die Mantelfläche eines Kegels.

---

*) Unter engerem Blickraume versteht Hering jene Bewegungsausdehnung des Auges, welche durch die gewöhnlichen Excursionen des Auges durchmessen werden, während die extremeren Augendrehungen durch vicariirende und coordinirte Kopfdrehung ersetzt werden.

Ersteres geschieht, wenn das Auge aus der Secundärstellung um dieselbe Axe weiter gedreht wird, um welche es aus der Primärstellung gedreht worden war, letzteres, wenn es sich um andere Axen dreht. Im ersten Falle entsteht keine Rollung (Drehung um die Gesichtslinie), im letzteren Falle tritt eine solche ein.

Man kann sich die letzteren Drehungen auch als solche vorstellen, welche um augenblickliche Axen erfolgt sind. Hiebei liegt die Spitze der beiden Kegel im Drehpunkt und derjenige, der im Auge steckt, rollt um den anderen, welcher nach der Seite hin liegt, nach welcher die Gesichtslinie aus der Primärstellung verschoben worden war.

Es lässt sich als Consequenz des Listing'schen Gesetzes erweisen, dass sich bei der Drehung aus der Primärstellung um eine primäre Axe, die Axenebene im Auge um die entgegengesetzte Halbaxe, ausserhalb des Auges um dieselbe Halbaxe wie das Auge dreht, jedoch nur mit der halben Winkelgeschwindigkeit.

Will man also die Lage einer secundären Axe finden, so braucht man nur den Drehungswinkel zu halbiren und in der, in der Halbirungslinie auf dem Drehpunkte errichteten Ebene wird die gesuchte Axe liegen.

Nach Hering gilt das Listing'sche Gesetz nur beim Blick in die Ferne mit parallelen Gesichtslinien, nicht aber bei Convergenz derselben.

§ 52. Die Augenmuskeln bewegen das Auge derartig, dass bei derselben Wirkung gewisser Muskeln oder Muskelgruppen nicht nur die Gesichtslinie immer auf denselben Punkt gerichtet ist, sondern auch die einzelnen Theile des Augapfels und, was das Wichtigste ist, die Netzhaut immer, von kleinen Unregelmässigkeiten abgesehen, dieselbe relative Lage zum Raume einnimmt.

Diese immer gleiche Netzhautlage bei gleicher Lage der Gesichtslinie wird als Orientirung der Netzhaut bezeichnet.

Die Orientirung der Netzhaut ist demnach eine eindeutige Function der Blicklage (Hering, Helmholtz).

Um die Gültigkeit des Listing'schen Gesetzes zu prüfen, hatte Ruete vorgeschlagen, Nachbilder, welche von schmalen farbigen Streifen auf der Netzhaut erzeugt werden, zur Untersuchung der Netzhautlage zu benutzen.

Donders war der erste, welcher in der That die Nachbildmethode zu jener Untersuchung benutzte, indem er sich ein dauerndes Nachbild von einem vertical stehenden Streifen erzeugte, welcher in der Höhe seines Auges an einer verticalen Wand angebracht war. Er verglich die Lage des Nachbildes, welches in seinem verticalen Netzhautmeridian entstanden war, mit verticalen und horizontalen Strichen, mit welchen die vor dem Beobachter liegende verticale Wand bedeckt war. Es zeigte sich dabei, dass das Nachbild stets dem Streifen parallel blieb, wenn der Blick aus der Primärstellung längs eines solchen direct nach auf- oder abwärts verschoben wurde, dass ferner das Nachbild auf einem horizontalen Streifen vertical stand, welcher dem Netzhauthorizonte gerade gegenüber lag. Beim Blicke nach rechts oben und links unten jedoch war das Nachbild gegen die verticalen Streifen der Wand nach rechts, beim Bilde nach rechts unten, und links oben nach links gedreht.

Donders schloss aus diesem Befunde, dass der verticale Netzhautmeridian und mit ihm die ganze Netzhaut in demselben Sinne, wie das Nachbild gerollt sei, dass also in diesen diagonalen Augenrichtungen Rollungen um die Gesichtslinie auftreten.

Helmholtz benutzte zur Prüfung der Netzhautlage und der Donders'schen Angaben das Nachbild eines horizontal gelegenen Objectes, welches auf dem Netzhauthorizonte erzeugt worden war. Die Untersuchung ergab, dass das Nachbild, wenn der Blick nach rechts oder links aus der Primärstellung sich bewegte, dem horizontalen Streifen, welcher der horizontalen Blickebene entsprach, vollkommen parallel blieb, resp. auf demselben sich verschob, während es beim Blicke direct nach oben oder unten auf dem entsprechenden verticalen Streifen senkrecht stand. In den Intermediärstellungen ergab sich Folgendes: Nach rechts oben und links unten drehte sich das horizontale Nachbild derartig, dass das linksseitige Ende desselben unter die Horizontale zu liegen kam, während es nach rechts unten und links oben im umgekehrten Sinne gedreht erschien. Da nun ferner die Rechnung bei gehobener und gesenkter Blickebene und ausgeführter Seitenwendung ähnliche Drehungen des Augapfels ergab, wie sie das Nachbild zeigte, so schloss Helmholtz auf eine wirkliche „Raddrehung" des Augapfels in den Intermediärstellungen in demselben Sinne, wie bei dem Nachbilde. Er drückte diese Verhältnisse durch folgende Sätze aus, die für beide Augen Gültigkeit haben sollen:

Bei gehobener Blickebene geben Seitenwendungen nach rechts Drehungen des Auges nach links, und Seitenwendungen nach links Drehungen des Auges nach rechts, bei gesenkter Blickebene geben Seitenwendungen nach rechts auch Drehungen des Auges nach rechts, und Seitenwendungen nach links auch Drehungen des Auges nach links.

Die von Donders gefundenen, geradewegs entgegengesetzten Resultate, die an einem verticalen Nachbilde gewonnen wurden, sucht Helmholtz dadurch zu entkräften, dass er sagt: es könne aus einer Drehung des verticalen Nachbildes nach rechts beim Blicke nach rechts und oben desshalb nicht auf eine Drehung des Auges nach rechts geschlossen werden, weil in diesem Falle die Projection der wirklich verticalen Linien nicht mit einer auf die Blickebene Normalen zusammenfallen, sondern die letztere in demselben Sinne als das Nachbild, aber viel stärker gedreht erscheinen würde.

Diese Erklärungsweise des Donders'schen Befundes beweist zwar, dass das Auge in dieser Lage nicht nach rechts gedreht sein könne, aber sie findet kein Wort der Erklärung dafür, aus welcher Ursache denn die Drehung des Nachbildes nach rechts entstände.

Helmholtz selbst fand aber, dass es eine Lage des Nachbildes auf der Netzhaut gebe, bei welcher das letztere dem entsprechenden Streifen an der Wand vollkommen parallel blieb. Wenn man nämlich das Nachbild eines unter 45° zur Verticalen angebrachten farbigen Streifens erzeugt und das Nachbild in der Verlängerung dieses farbigen Streifens nach oben oder nach unten führt, so verschiebt sich dasselbe längs des Streifens an der Wand und steht auf einem senkrecht darauf angebrachten intermediären Streifen vertical.

Diese Thatsache beweist die Richtigkeit des von Hering aufgestellten Satzes: Will man erfahren, ob bei einer bestimmten Bewegung

des Auges Rollungen um die Gesichtslinie (Raddrehungen) stattfinden oder nicht, dann muss man den das Nachbild erzeugenden Streifen in dieselbe Richtung legen, in welcher man die Bewegung des Auges prüfen will. — Ergibt sich bei einer solchen Prüfung eine Drehung des Nachbildes gegen den objectiven Streifen, dann ist auch in der That das Auge um die Gesichtslinie gerollt worden und zwar in demselben Sinne, wie das Nachbild selbst. Es ergab eine genaue Prüfung des Listing'schen Gesetzes mit derartig eingerichteten Nachbildern, dass bei parallelen Gesichtslinien und innerhalb des engeren Blickfeldes aus der Primärstellung heraus nur solche Bewegungen des Auges erfolgen, bei welchen das Nachbild und daher das Auge absolut keine Drehung um die Gesichtslinie zeigt und um Axen, auf welche die Gesichtslinie im Beginne und am Ende der Bewegung senkrecht steht. Alle diese Axen bilden die schon erwähnte primäre Axenebene.

Den Widerspruch zwischen den Drehungen eines verticalen und horizontalen Nachbildes in den Intermediärstellungen klärt Hering in befriedigender Weise folgendermassen auf: In den erwähnten Intermediärstellungen geben die objectiven verticalen und horizontalen Linien der Wand Projectionen auf der Netzhaut, welche nicht rechte sondern spitze Winkel mit einander bilden.

Bezeichnet in Fig. 40 das Kreuz mit ausgezogenen Linien die in der Primärstellung erzeugten auf einander senkrechten Nachbilder und wendet man den Blick nach rechts oben, so fallen die Projectionen der verticalen und horizontalen Linien an der Wand auf Netzhauttheile,

Fig. 40.

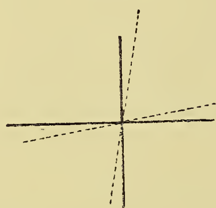
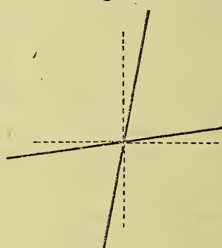


Fig. 41.



welche durch die punktirten Linien dargestellt werden. Sie sind also spitzwinkelig. Da wir aber trotz der schiefen Projection diese Linien für vertical halten, so muss das verticale Nachbild nach rechts von der verticalen, das horizontale Nachbild unter die horizontale gedreht erscheinen, wie Fig. 41 zeigt.

Will man sich den Vorgang hiebei vergegenwärtigen, so stecke man durch einen Ballon zwei Stricknadeln vertical auf einander derartig durch, dass jede derselben einen Durchmesser der Kugel bildet.

Man verfinstert nun das Zimmer, stellt den Ballon zwischen sich und einer lichten Wand derart auf, dass einer der Drähte den verticalen, der andere den horizontalen Meridian der Kugel darstellt und dreht denselben um eine Axe, welche von rechts unten nach links oben (vom Beobachter) verläuft, um etwa 45° nach oben. Hierauf wird eine Lampe nach links und unten vom Ballon derart aufgestellt, dass der Schatten der Nadeln nach rechts und oben auf die Wand fällt. Die

Schatten der Nadeln projicirten sich nun ganz auf dieselbe Weise, wie die Nachbilder in einem Auge, welches um dieselbe Axe nach oben gedreht worden ist. Auch die Nachbilder bilden hiebei denselben stumpfen Winkel mit einander, wenn auch die Wand ganz glatt und ohne Linien ist.

Hieraus ergibt sich, dass das Auge geometrisch vollkommen richtig projicirt, und dass die spitzwinkeligen Projectionen der objectiven Linien desshalb für rechtwinkelige gehalten werden, weil die rechtwinkeligen auf einander gestellten Nachbilder in dieser Lage des Auges stumpfwinkelig auf die Wand projicirt werden.

Man kann demnach weder aus der Drehung eines verticalen Nachbildes nach rechts beim Blicke nach rechts und oben auf eine Drehung des Auges nach rechts, noch aus der Drehung eines horizontalen Nachbildes nach links auf eine Drehung des Auges nach links schliessen.

Fig. 42.

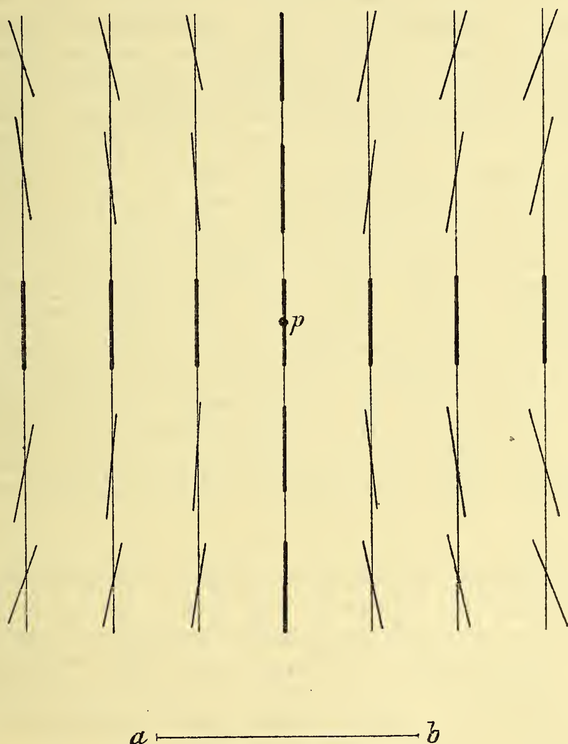


Fig. 42 stellt ein von Hering entworfenes Tableau dar, welches die Stellung verticaler Nachbilder bei den verschiedenen Blickrichtungen und Bewegungen angibt.

Es ist aus demselben zu ersehen, dass das Nachbild nur jenem mittleren Streifen parallel bleibt, längs dessen der Blick direct nach auf- und abwärts streicht, dass aber, sowie die geringste Seitenwendung eintritt, Drehungen des Nachbildes erfolgen, welche um so excursiver

sind, je weiter seitlich der Blick sich von der Mittellinie entfernt, weiters zeigt das Tableau, dass das Nachbild mit dem verticalen Streifen längs des horizontalen Durchschnittes mit der Blickebene der Zeichnung zusammenfällt, während es bei Erhebung und Senkung des Blickes gedreht erscheint und das um so mehr, je weiter der Blickpunkt von der Horizontalen sich entfernt. Es zeigt sich hiebei, dass, wenn das Auge längs einer verticalen Linie nach rechts oben geführt wird, Drehungen des Nachbildes nach rechts entstehen, welche desshalb auch der Ausdruck sind von Rollungen des Auges nach rechts.

Wird der Blick von der Mittellinie oben wagrecht nach rechts hinüber geführt, so gibt das Tableau ebenfalls Drehungen des Nachbildes nach rechts an. Diese sind jedoch nicht der Ausdruck einer Rollung des Auges nach rechts, sondern nur der Erfolg schiefer Projectionen des Nachbildes.

Will man erfahren, ob eine Rollung um die Gesichtslinie bei wagrechter Fortführung des Blickes und bei erhobener Blickebene erfolge, so muss man die Zeichnung um 90° drehen, wobei sie die Lagen eines horizontalen Nachbildes bei den verschiedenen Augenstellungen zur Darstellung bringt. Es zeigt sich hiebei, dass bei einer ähnlichen Bewegung des Blickes aus der Mittellinie nach rechts bei gehobener Blickebene das horizontale Nachbild nach links und um so mehr gedreht erscheint, je weiter der Blickpunkt von der Mittellinie abliegt.

Bei jeder anderen Drehung der Figur um ihren Mittelpunkt hat die Zeichnung ebenso ihre Gültigkeit, und so sehen wir denn, wenn wir die Figur nur um 45° nach rechts drehen, dass beim Blicke nach rechts und oben das Nachbild dem diagonalen Streifen parallel bleibt und keine Drehungen zeigt. Aus der eben gegebenen Darstellung wird leicht ersichtlich, dass der Blickpunkt nach rechts und oben in verschiedener Weise vom Auge erreicht werden kann, und zwar ohne jede Rollung um die Gesichtslinie, wenn sich das Auge aus der Primärstellung direct nach rechts und oben bewegt, mit einer Rollung nach rechts, wenn das Auge aus einer Seitenstellung nach rechts sich nach oben erhebt, und endlich mit einer Rollung nach links, wenn das Auge aus der mittleren, erhobenen Stellung die Seitendrehung nach rechts ausführt.

Die Drehungen der Nachbilder werden desshalb auch für denselben Blickpunkt nach rechts und oben verschieden stark ausfallen. So wird das verticale Nachbild bei Führung des Blickes aus der rechten Seitenstellung nach oben am stärksten gedreht erscheinen, weniger dasjenige, welches bei einer Drehung des Auges nach rechts und oben um eine primäre Axe entsteht. Am geringsten wird die Rechtsdrehung des Nachbildes in dem Falle vorhanden sein, wenn das Auge von der Mittellinie oben sich nach rechts hinüber bewegt.

Im ersten Falle addirt sich die Richtung der Rollung und die falsche Projection, im zweiten wird die Rechtsdrehung nur durch die falsche Projection erzeugt, im letzten Falle ist die Rechtsdrehung die Differenz zwischen Rollung nach links und falscher Projection.

Wir lernen hieraus zweierlei:

I. Dass das von Helmholtz früher aufgestellte Gesetz unvollständig ist. Helmholtz war offenbar der Meinung, dass es in Bezug auf die Drehung des Auges gleichgültig sei, ob man dasselbe erst nach

oben und dann nach rechts oder erst nach rechts und dann nach oben drehe. Dass die Stellung des Auges nach beiden Arten der Bewegung eine ganz verschiedene sei, hat Hering drastisch nachgewiesen.

Man stecke durch einen Zwirnknäul drei Stricknadeln als Durchmesser der Kugel in drei auf einander senkrechten Richtungen. Die verticale Nadel möge mit v, die Nadel horizontal von rechts nach links mit h und die Nadel, von vorn nach hinten gehend und gleichsam die Gesichtslinie darstellend, mit g bezeichnet werden. Dreht man nun den Knäul um die verticale Nadel nach rechts um 90°, so wird die Nadel g nach rechts zu stehen kommen, dreht man nun weiters um die horizontale Axe h den Knäul nach oben, so wird die Nadel g um so mehr vertical stehen. Dreht man aber den Knäul aus seiner ursprünglichen Stellung um die Nadel h als Axe um 90° nach oben, so wird die Nadel g vertical zu stehen kommen, und dreht man nunmehr um die Nadel v nach rechts, so wird die Nadel g horizontal von rechts nach links liegen. Die Stellung des Knäuls am Ende der Bewegungen ist — wie wir gesehen — eine sehr verschiedene, und der hohe Grad dieser Verschiedenheit hängt von dem Uebermaasse der Drehungen ab, welche von den Augen in solcher Weise zwar nie ausgeführt werden, aber nach demselben Principe verschiedene Augenstellungen bewirken müssen. Es muss desshalb das von Helmholtz aufgestellte Gesetz durch folgende Sätze erweitert werden:

1. Bei Seitenwendung der Augen nach rechts geben Erhebungen der Blickebene auch Drehungen des Auges nach rechts und Senkungen Drehungen des Auges nach links.

2. Bei Seitenwendung der Augen nach links geben Erhebungen des Auges Drehungen nach links und Senkungen Drehungen nach rechts.

II. Wir lernen ferner daraus das Princip, dass die Stellung des Auges resp. die Netzhautlage nicht dieselbe sein könne, wenn der Blick auf verschiedenem Wege einem bestimmten Punkte zugeführt wird. Die Verschiedenheiten in der Netzhautlage sind dabei jedoch so gering, und es werden die kleinen Schwankungen des Nachbildes so sicher corrigirt, dass das früher erwähnte Donders'sche Gesetz der gleichen Netzhautlage bei gleichem Blickpunkte annähernd und vor Allem im engeren Blickraume seine Gültigkeit hat.

Während durch die Untersuchung mittelst Nachbildern die Netzhautlage und die Stellung jedes einfachen Auges bei den verschiedenen Augenbewegungen eruirt werden kann, hat Hering eine Methode angegeben, welche er die haploskopische nennt, und die dazu dient, die gegenseitige Lage beider Augen sowohl in der Primärstellung, als auch in den Secundärstellungen bei parallelen und convergenten Gesichtslinien zu bestimmen.

Werden über einer weissen Tafel zwei schwarze Fäden derartig vertical ausgespannt, dass sie durch die Durchschnittspunkte der parallel und horizontal gestellten Gesichtslinie mit der Ebene der Tafel hindurchgehen, so können, wenn man etwas Uebung im Verschmelzen von Doppelbildern hat, statt vier auf den beiden Netzhäuten abgebildeten Fäden nur drei erscheinen, wobei der mittlere aus dem Zusammenfliessen der beiden central abgebildeten Fäden entstanden ist, während die beiden anderen die Bilder der ungleichnamigen Fäden darstellen.

Versucht man nun ein klein wenig zu convergiren, so zerfällt das mittlere, binoculäre Bild in Doppelbilder, welche nach oben convergiren. Sollen die Fäden parallel erscheinen, so müssen sie mit ihrem oberen Ende in gewissem Grade divergiren. Hieraus ist mit Sicherheit zu schliessen, dass nur solche Linien vertical erscheinen, welche sich auf einem Netzhautmeridiane abbilden, der um einen bestimmten Winkel temporalwärts vom verticalen Netzhautmeridiane abweicht. Um denselben Winkel nämlich, um welchen die Fäden nach aussen gedreht werden mussten, sind auch die sogenannten verticalen Trennungslinien (mittlere Längsschnitte, scheinbar verticale Meridiane) gedreht.

Senkte Hering seinen Kopf, während die Gesichtslinien in derselben Lage blieben, so gehörte eine stärkere Divergenz der Fäden dazu, um das durch Convergenz zerstörte binoculär-einfache Bild der Fäden in zwei verticale und parallele zu zerlegen.

Legte er den Kopf nach rückwärts zurück, ohne die Lage der Gesichtslinien zu ändern, so ergab sich das Umgekehrte. Hering schliesst hieraus, dass für seine Augen das Listing'sche Gesetz nicht vollkommen zutreffe, indem bei reiner Erhebung und Senkung der Blickebene eine Rollung um die Gesichtslinie und zwar bei der Erhebung gegen die Schläfe, bei der Senkung gegen die Nase stattfindet. — Diese Untersuchungen, die auch von Volkmann und Helmholtz ausgeführt und bestätigt worden waren, hat Hering später erweitert und derart ausgebildet, dass das Zerfällen des binoculär einfachen Bildes durch Convergenz überflüssig wird.

Er hat nämlich an der Tafel zwei Streifen angbracht, welche sich um den Durchschnittspunkt der Gesichtslinie mit der Tafel als Axe drehen liessen und längs des einen (in dessen Mitte) ein weisses Rosshaar und längs des andern zwei schwarze, welche je 1 mm vom Drehpunkt entfernt und mit einander parallel verliefen, angespannt. Beim Versuche wurden die beiden Streifen oder nur einer von ihnen so weit nach aussen gedreht, bis das weisse Rosshaar in der Mitte und parallel zwischen den beiden schwarzen verlief. Der Winkel, um welchen gedreht werden musste und welcher mittelst eines Nonius, der am Ende beider Streifen angebracht war und auf einer Graduirung verschoben werden konnte, abgelesen wurde, gab die Divergenz der scheinbar verticalen Trennungslinien an.

Mittelst dieser Vorrichtung konnte sowohl bei parallelen Gesichtslinien in der Medianebene als auch bei jeder Seitenwendung des Blickes, aber auch bei jeder Convergenzstellung der Gesichtslinien dieser Winkel gefunden werden, wobei es sich herausstellte, dass bei erhöhter Convergenz die Rollung des Auges um die Gesichtslinie nach aussen eine so beträchtliche wird, dass das Listing'sche Gesetz auf die Augenbewegung keine Anwendung findet.

§ 53. Hering verdanken wir ferner das die ganze Lehre von der Bewegung des Auges in physiologischer und pathologischer Beziehung beherrschende Gesetz der gleichmässigen Innervation beider Augen.

Dieses Gesetz gründet sich, abgesehen von den später zu erwähnenden Beweisen für die Existenz desselben, zunächst auf die von Hering ausgeführte Anschauung, dass beide Augen zusammen ein einziges Organ mit zwei Theilen ausmachen, welches er mit dem Namen Doppelauge belegt, und von welchem er nachweist, dass es die Ge-

sichtseindrücke derartig empfindet und nach aussen verlegt, als wäre es nur ein in der Mitte der Verbindungslinie der Drehpunkte beider Augen gelegenes Auge.

Eine ebenso wichtige Grundlage des Gesetzes bilden die experimentellen Untersuchungen, durch welche es gelang, ein subcorticales Centrum für die Augenbewegungen aufzufinden. Diese Bewegungen waren vollkommen associirte und zwar entweder Seitenbewegungen oder Adductionen und Abductionen. Diese Funde, welche vielfach bestätigt wurden, wurden ferner unterstützt durch eine Reihe von Beobachtungen, welche es ganz unzweifelhaft machen, dass die associirten Augenbewegungen angeborene sind.

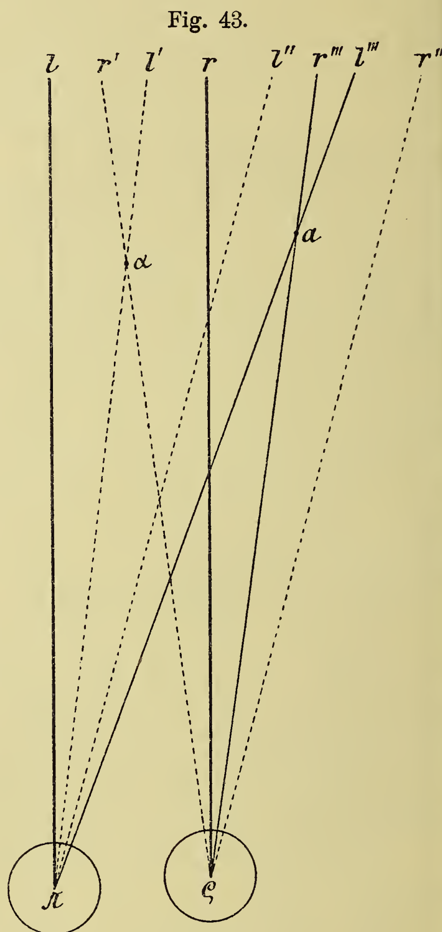
Zu diesen Beobachtungen gehört vor allen der in frühester Kindheit erworbene Nystagmus oscillatorius, bei welchem die Zitterbewegungen des Auges in streng associirter Weise und zwar um die verticale Axe geschehen. Dieser Nystagmus wird meist zu einer Zeit erworben, wo der Wille noch nicht begonnen hat die Augenbewegungen zu beherrschen, dieselben vielmehr auf reflectorischem Wege vermuthlich durch Vermittlung des Coordinationscentrums zustande kommen.

Eine andere, das Angeborensein der associirten Augenbewegungen stützende Beobachtung kann Verfasser beibringen, welcher ein zehn Wochen altes Kind mit beiderseitigem stark ausgebildeten Netzhautgliom, das demnach sicher schon intrauterin vorhanden war, zu Gesichte bekam. Obwohl nun dieses Kind sicherlich niemals die allergeringste Lichtempfindung gehabt hat, waren die Bewegungen seiner Augen dennoch streng associirte, wie wir es auch bei Neugeborenen mit gesunden Augen beobachten können.

Hering nimmt sechs Paare von associirten Muskeln an, von welchen je ein Paar stets gemeinschaftlich und in gleicher Weise innervirt wird. Diese sechs Paare sind: die Gruppe des Rechtswender (rechter Rect. exter. und linker Rect. inter.), die Gruppe der Linkswender (rechter Rect. inter. und linker Rect. exter.), die Gruppe der Einwender, Adductoren (beide Rect. inter.) und die der Auswender, Abductorengruppe (beide Rect. exter.), die Gruppe der Heber (Rect. super.) und Obliquus infer.), die Gruppe der Senker (Rect. infer. und Obliquus super.).

Kein einzelnes Auge kann sich allein bewegen, ohne dass das andere Auge sich mitbewegen, oder wenigstens in seiner Innervation verändern würde. Sehen die Augen mit parallelen Gesichtslinien in die Ferne, dann bewegen sich die Augen nach allen Richtungen im gleichen Grade und mit gleicher Geschwindigkeit, liegt aber das Object näher, so dass gleichzeitig mit einer seitlichen Bewegung auch eine Adduction der Gesichtslinien nothwendig wird, so kann es geschehen, dass die Bewegung beider Augen nach einer Seite eine ungleichmässige wird und dass auch die Geschwindigkeit von der des anderen Auges verschieden ist. Ja schliesslich kann es sogar geschehen, dass ein Auge scheinbar vollständig ruht, während sich das andere nach einwärts oder auswärts bewegt. Aber aus der letzteren Thatsache darf nicht geschlossen werden, dass die Bewegung eines einzelnen Auges durch eine auf dieses allein gerichtete Innervation erzielt werden kann, sondern das scheinbar ruhende Auge wird von zwei gleichen aber entgegengesetzten Innervationen, die sich gegenseitig aufheben, in seiner Lage erhalten.

Stellen in Fig. 43 $l\lambda$ und $r\rho$ die parallel gerichteten Gesichtslinien vor und es bietet sich ein Object a, welches nahe und nach rechts hin gelegen ist, der Betrachtung dar, so wird das linke Auge von einer Adductionsinnervation mit dem Winkelwerthe $l\lambda\alpha$ und einer Innervation für die Rechtswendung mit dem Werthe $l\lambda l_{,,}$ getroffen. Durch die Wirkung beider Innervationen, welche sich summiren, wird die Gesichtslinie in die Richtung $l\lambda_{,,,}$ gebracht, weil der Winkel $l_{,,,}\lambda\alpha = \sphericalangle\, l\lambda l_{,,}$. Das rechte Auge wird von der Adductionsinnervation $r\rho\alpha$ und von der Innervation zur Rechtswendung $r\rho_{,,}$ getroffen, welche einander entgegengesetzt, aber ungleich sind, und desshalb die Gesichtslinie, da $r\rho r_{,,} - r\rho r_{,} = r\rho r_{,,,}$, in die Richtung $\rho r_{,,,}$ gebracht und schneidet die Gesichtslinie des linken Auges im Objectspunkte a. In diesem Beispiele sehen wir die beiden Augen, trotzdem auf sie ganz gleiche Innervationen einwirken, ganz ungleichmässige Bewegungen machen, da das linke Auge einen Antrieb zur Bewegung nach rechts, einmal wegen der Vermehrung der Convergenz und dann wegen der Seitenwendung nach rechts erhält. Das rechte Auge, welches wegen vermehrter Convergenz einen Antrieb nach links und wegen der Seitenwendung einen solchen nach rechts erhält, wird zwar ebenfalls nach dieser Richtung, aber in viel geringerem Grade als das linke sich bewegen, weil die beiden Antriebe einander theilweise aufheben.



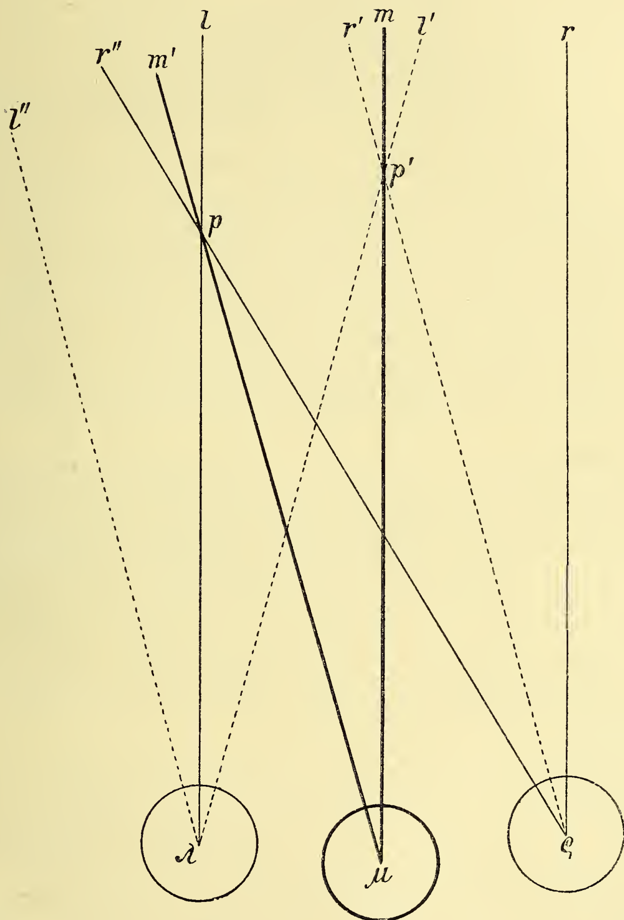
Man kann ebenso leicht nachweisen, dass sich das scheinbare Verharren eines Auges in der Ruhelage bei Bewegung des anderen mit dem Gesetze der gleichen Innervation beider Augen vereinigen lässt.

Sind nämlich in Fig. 44 λl und ρr die parallel gestellten Gesichtslinien und ist p das Object, welches auf der Gesichtslinie des linken Auges, aber diesem näher, liegt und binoculär betrachtet werden soll, so wird das rechte Auge eine Convergenzinnervation um den Winkel $r\rho r_{,}$ und einen Antrieb zur Seitenwendung um den Winkel $r_{,}\rho r_{,,}$, beide nach links hin erhalten und sich desshalb um den Winkel $r\rho r_{,,}$ nach links drehen. Das linke Auge erhält eine ebenso starke Conver-

genzinnervation unter dem Winkel $l \lambda l'$ nach rechts hin und einen ebenso starken Antrieb zur Linkswendung unter dem Winkel $l \lambda l''$, die einander aufheben werden, so dass die Gesichtslinie in Ruhe bleibt und nur eine verstärkte Accommodation eintritt.

Die Gesichtslinie des rechten Auges $\rho r''$ wird nun die Gesichtslinie des linken Auges in p schneiden. Gleichzeitig ist ersichtlich, dass das in der Mitte zwischen beiden Augen liegende Doppelauge, dessen Gesichtslinie μm den Gesichtslinien beider Augen parallel ist und durch

Fig. 44.



den Convergenzpunkt p, geht eine ebenso starke Seitenwendung unter dem Winkel $m \mu m'$ nach links machen wird, wodurch seine Gesichtslinie in der zweiten Lage ebenfalls durch p geht. Dass das scheinbar ruhende linke Auge in der That unter der Herrschaft einer anderen Innervation steht, wenn es auf den näher gelegenen Punkt p accommodirt, als dann, wenn es in der gleichen Richtung einen fern gelegenen Punkt betrachtet, lässt sich durch folgendes Experiment erweisen:

Bringt man vor beide Augen eine doppelte Röhre, in welche in einer Entfernung, die etwas grösser ist als der Nahepunkt der Augen, Stifte von unten hineinragen und ist am vorderen Ende der Röhren eine Klappe angebracht, durch welche dieselben vom Lichte vollkommen abgeschlossen werden können, so wird der Versuch so angestellt, dass beide Augen durch die offenen Röhren einen fern gelegenen Gegenstand betrachten. Hiebei erscheint die Oeffnung der Röhre einfach, und beide Stifte werden in einen verschwommen gesehenen Stift verschmelzen. Schliesst man nun die Klappe der rechtsseitigen Röhre und lenkt seine Aufmerksamkeit dem in der linken Röhre angebrachten Stifte zu, so macht sowohl dieser letztere als auch die Oeffnung der Röhre und das fern gelegene Object eine Scheinbewegung nach links. Diese Beobachtung ist so zu deuten, dass das Doppelauge eine Innervation zur Seitenwendung nach links erhalten hat, welche sich, da das Object auch weiters central fixirt wird, in einer Scheinbewegung der Objecte nach links ausspricht.

Dieses Experiment gelingt auch, wenn man, ohne durch Röhren hindurchzusehen, das eine Auge schliesst, und das andere, innerhalb dessen Gesichtslinie das nahe Object angebracht ist, diesem und dem fernen Objecte abwechselnd die Aufmerksamkeit zuwendet. Ja es gelingt sogar, ohne dass das eine Auge geschlossen werden muss, wenn man nur rasch hinter einander das ferne und nahe Object abwechselnd fixirt.

Dass die Adductorengruppe bei allen seitlich und nahe gelegenen Objecten auch wirklich immer innervirt werde, zeigt die Thatsache, dass das Blickfeld bei Accommodation auf eine nahe Ebene kleiner ist als beim Blick in die Ferne. Hievon kann man sich in folgender Weise überzeugen.

Stellt man sich vor ein Fenster und hält sich an ein queres Brettchen, welches am Fensterkreuz angebracht ist, mit den Zähnen fest, um die Lage des Kopfes gleichmässig zu erhalten und betrachtet z. B. ein nach links hin liegendes sehr fernes Object, welches man bei der äussersten Linkswendung mit dem Blicke erreicht und markirt den Durchschnittspunkt der Gesichtslinie mit der Fenstertafel durch eine Oblate, erzeugt sich hierauf ein verticales Nachbild und betrachtet auf der Fenstertafel angebrachte Punkte und Striche, so wird sich zeigen, dass auch bei äusserster Anstrengung das verticale Nachbild die Oblate nicht erreicht.

Der Beweis dafür, dass die gleichmässige Innervation beider Augen eine zwangsmässige, d. i. eine solche ist, bei welcher zwar eine bestimmte Bewegung intendirt, die Verknüpfung der Innervationen zweier zu einer Gruppe gehöriger Muskeln jedoch eine unwillkürliche ist, wird dadurch erbracht, dass die gleichzeitige und gleichmässige Bewegung auch erfolgt, wenn sie nutzlos, ja sogar dem deutlichen Sehen hinderlich ist. So folgt das verdeckte oder erblindete Auge den Bewegungen des sehenden. Wenn beide Augen erblindet sind, bewegen sie sich gleichwohl gleichzeitig und in gleicher Richtung. Bei Paresen eines Augenmuskels, bei welchen bei einseitigem Gebrauche des Auges gewisse seitlich gelegene Punkte mit dem Blicke erreicht werden können, werden diese beim binoculären Sehen stets auf einer excentrischen Netzhautstelle abgebildet, weil das paretische Auge bei gleicher Innervation dem gesunden nicht folgen kann; und dennoch würde, wenn

jedes Auge in seiner Innervation von dem anderen unabhängig wäre, die gleichzeitige Einstellung beider Augen auf diesen Punkt leicht erreicht und die das Sehen so sehr störenden Doppelbilder vermieden werden.

Ein weiterer sehr wichtiger Beweis für die Annahme der gleichmässigen Innervation beider Augen liegt in der Anordnung und in dem Ansatze der verschiedenen Muskeln und in der Combination der zu einer bestimmten Bewegung in Anspruch genommenen Muskelkräfte. Wir haben schon früher erwähnt, dass die Resultirende der das Auge steuernden Kräfte sich gegen den bewegenden Muskel antagonistisch verhält, und dass desshalb die Bewegung in einer bestimmten Richtung nicht nur um dieselben Halbaxen, sondern auch stets durch dieselben Muskeln geschieht. Diese Resultirende fällt immer mit der Zugrichtung jenes Muskels oder jener Muskelgruppe zusammen, welche das Auge um die zugehörige entgegengesetzte Halbaxe dreht.

Es gilt dies Gesetz vornehmlich für die Bewegungen, welche aus der Primärstellung heraus, also nach dem Listing'schen Gesetze stattfinden. Aber bei Bewegungen, welche aus einer Secundärstellung heraus geschehen, hat dasselbe annähernd ebenfalls seine Richtigkeit.

Ist z. B. das Auge aus der Primärstellung um eine verticale Halbaxe nach rechts gedreht worden, und wird nun eine Erhebung des Blickes beabsichtigt, so geschieht dieselbe durch die Gruppe der Heber Rect. super. und Obliqu. infer. ebenso, wie aus der Primärstellung oder aus einer nach links gelegenen seitlichen Stellung. Dasselbe gilt selbstverständlich in entsprechender, aber entgegengesetzter Weise von den Senkern.

Ist die Blickebene aus der Primärstellung gehoben oder gesenkt worden, dann dreht der Rect. exter. das Auge temporalwärts, der Rect. inter. nasalwärts, so wie dies aus der Primärstellung um eine verticale Halbaxe geschehen ist. Soll das Auge in schräger Richtung direct nach rechts oben oder links oben, nach rechts unten oder links unten geführt werden, so betheiligen sich nebst den Hebern resp. den Senkern noch der Rect. exter. oder der Rect. inter.

Die Axe, um welche diese Drehungen geschehen, lässt sich leicht finden, wenn man auf die Halbaxen, um welche die einzelnen betheiligten Muskelgruppen sich drehen, die Drehungsmomente*) aufträgt und die Resultirende in der Diagonale des zu errichtenden Kräfteparallelogrammes construirt. Diese gibt somit das Drehungsmoment der aus beiden Kräften resultirenden Drehung ab, und ihre Verlängerung ist zugleich die Halbaxe der combinirten Drehung.

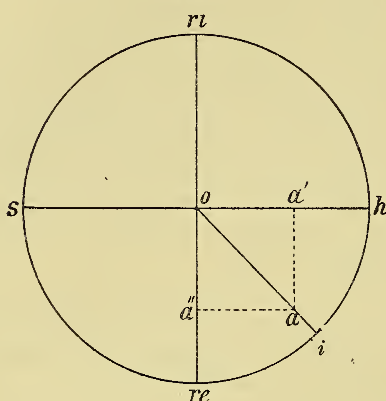
Stellt Fig. 45 einen durch den Drehpunkt gelegten Frontalschnitt des linken Auges dar, so ist diese Ebene gleichzeitig die primäre Axenebene und o — ri die Halbaxe des Rect. inter., o — re die Halbaxe des Rect. exter., o — h die Halbaxe der Heber, o — s die Halbaxe der Senker.

Soll nun das Auge nach links oben gedreht werden, so betheiligen sich an dieser Drehung sowohl die Heber als auch der Rect. exter.

*) Unter Drehungsmoment wird die graphische Darstellung jener Kraftquote verstanden, welche aufgewendet werden muss, wenn das Auge um die betreffende Halbaxe und um einen bestimmten Winkel gedreht werden soll.

Soll der Blickpunkt unter 45° zur verticalen und horizontalen Richtung nach oben und aussen gehen, so betheiligen sich die beiden erwähnten Muskelgruppen mit gleichen Drehungsmomenten an dieser Bewegung. Sind o a′ und o a″ diese Drehungsmomente, dann ist o a das Drehungsmoment der combinirten Drehung und o i die Drehungsaxe dieser intermediären Drehung.

Fig. 45.



In solcher Weise lässt sich jede Drehungsaxe, welche das Auge aus einer Stellung in die andere überführen soll, finden. Die Excursion der Seitenwendungen, welche der äussere und der innere Gerade sowohl aus der Primärstellung, als auch aus einer Secundärstellung bei gehobener oder gesenkter Blicklinie bewirken, ist fast immer die gleiche.

Ebenso ist die Kraft der Heber, wenn das Auge aus der Primärstellung direct nach oben oder aus einer horizontalen Seitenstellung gehoben werden soll, fast vollständig die gleiche. Rückt nämlich das Auge nach einwärts, so dass die Gesichtslinie der Muskelebene der Mm. obliqui sich nähert oder sogar mit ihr zusammenfällt, so wirken die schiefen Augenmuskeln fast nur als Heber des Auges, während die Kraftquote (Drehungsmoment), welche eine Rollung um die Gesichtslinie bewirkt, fast vollständig verloren geht. Dagegen ist in dieser Augenstellung der Einfluss des oberen und unteren Geraden auf die Erhebung resp. Senkung des Auges in sehr hohem Grade geschwächt.

Ist das Auge temporalwärts gedreht, dann tritt das umgekehrte Verhältniss ein, indem die Recti das Maximum ihres Einflusses auf Hebung und Senkung gewinnen, während die Obliqui denselben fast ganz verloren haben. In der Mittellinie wirken beide Muskeln mit je ihrer halben Kraft auf die Erhebung und auf die Rollung des Auges. Aus dieser Einrichtung ist zu ersehen, dass das Auge aus seinen horizontalen Stellungen von jedem Punkte aus mit gleicher Kraft gehoben oder gesenkt werden kann.

Bezüglich der Rollungen um die Gesichtslinie besteht zwischen beiden Hebern und zwischen beiden Senkern ein ähnliches, aber umgekehrtes Verhältniss, wie bezüglich der Hebung und Senkung. Ist z. B. das linke Auge nasenwärts gedreht und soll nunmehr gehoben werden, so geschieht die Erhebung fast ausschliesslich durch den Obliqu. infer. Der Rect. super., der gleichzeitig innervirt wird, dreht den verticalen Meridian nasenwärts. Ist das Auge vor der Erhebung schläfenwärts gedreht, so geschieht die Erhebung fast ausschliesslich durch den Rect. super., und der Obliqu. infer., der gleichzeitig innervirt wird, dreht den verticalen Meridian schläfenwärts.

Befand sich aber das Auge ursprünglich in der Primärstellung und soll aus dieser gehoben werden, so summiren sich, wie schon früher erwähnt worden ist, die hebenden Kräfte der beiden Muskeln, während

die rollenden sich gegenseitig aufheben. Soll nun aus dieser mittleren gehobenen Stellung das Auge nasen- oder schläfenwärts gedreht werden, so muss im ersten Fall die Mitwirkung des Rect. inter., im zweiten die des Rect. exter. eintreten. Ersterer dreht bei gehobener Blicklinie den verticalen Meridian temporalwärts, letzterer nasalwärts.

Wir sehen daher, dass getreu den früher aufgestellten Drehungsgesetzen das supponirte linke Auge, wenn es zuerst nach rechts und dann nach oben gedreht wird, eine Rollung nach rechts, wenn es aber zuerst in der Mittellinie gehoben und dann nach rechts gedreht wird, eine Rollung nach links macht.

Ebenso lässt sich zeigen, dass wenn das Auge um eine Listing'sche primäre Axe nach rechts und oben gedreht worden ist, hiebei keine Rollung um die Gesichtslinie stattfindet. In dieser Richtung nämlich wirkt, wie wir früher gesehen haben, der Rect. super. beinahe allein auf die Rollung des Auges ein, und der Effect dieses letzteren wird durch das entgegenwirkende Rollbestreben des mitbetheiligten Rect. inter. vollkommen aufgehoben.

Wir sehen also, dass die Wirkung der Muskelkräfte in vollständiger Uebereinstimmung ist mit dem Listing'schen Gesetze, und diese Uebereinstimmung ist ein neuerlicher Beweis der immer gleichmässigen Innervation beider Augen; denn wäre diese nicht gleichmässig, dann wäre auch die Netzhautlage (Orientirung) beider Augen eine verschiedene und demnach die Bewegung beider Augen nicht in Uebereinstimmung mit dem Listing'schen Gesetze. Es zeigt gleichzeitig die Gesetzmässigkeit dieser Muskelwirkungen, dass das scheinbar so complicirte Bild der Augenbewegungen sich in einfachster Weise aus Wirkungen zusammensetzt, welche in derselben Art und in demselben Antheile der Kräfte von immer denselben Muskeln ausgeführt werden, wobei der Wille nur die Intention einer bestimmten Bewegung schafft, aber durchaus der Wahl entbehrt, beliebige Muskeln dieser Intention dienstbar zu machen.

Diese theilweise Unabhängigkeit der Muskelwirkung von dem intendirenden Willen ist für Hering ein Beweis mehr dafür, dass der Modus der Augenbewegungen und das Zusammenwirken verschiedener Muskeln zu einem bestimmten Zwecke eine angeborene Qualität des Bewegungsmechanismus der Augen und zugleich ein Beweis für das Angeborensein der gleichmässigen Innervation beider Augen ist.

§ 54. Das Verhalten der Augen gegen Prismen bietet uns einen neuerlichen Beweis für die Gleichmässigkeit der Innervation beider Augen. Dies gilt aber nur für seitlich brechende Prismen, nicht für senkrecht brechende. Im Gegentheil liefert das Verhalten der Augen gegen die letzteren einen scheinbaren Gegenbeweis gegen die Gleichmässigkeit der Innervation.

Setzen wir Prismen von nicht zu grossem Winkelwerthe mit der Basis gegen die Schläfe oder gegen die Nase vor ein Auge, so entstehen im ersten Augenblicke im ersteren Falle gekreuzte, im letzteren gleichnamige Doppelbilder, welche unter Adduction resp. Abduction der Gesichtslinie nach kurzer Zeit zu einem Bilde verschmelzen.

Man nennt desshalb Prismen in der ersten Stellung adducirende, in der zweiten Stellung abducirende.

Betrachten wir nun die Innervationsvorgänge beim Verschmelzen zweier durch ein adducirendes Prisma hervorgerufener Doppelbilder.

Es sei in Fig. 46 λ der Drehpunkt des linken, ρ der des rechten Auges und δ jener des zwischen beiden liegenden Doppelauges. Vor dem rechten Auge ist das adducirende Prisma P angebracht, welches die in der Gesichtslinie r ρ dieses Auges liegenden Strahlen nach ρ' ablenkt. Damit diese auf der Fovea centralis abgebildet werden, muss

Fig. 46.

das Auge nasalwärts gedreht werden, so dass die Gesichtslinie in die Richtung ρ r'' zu liegen kommt. Im Punkte p', wo sich nunmehr die beiden Gesichtslinien schneiden, werden die beiden centralen Eindrücke in einen Punkt verschmolzen werden.

Die hiebei eintretenden Innervationen ergeben sich leicht aus dem Verhalten des Doppelauges. Dieses, dessen Gesichtslinie in der Richtung

δ d liegt, wird auf den Punkt p accommodiren und dann seinen Blickpunkt nach p′ verlegen und somit eine Drehung des Blickes um den Winkel p′ δ p machen.

Dementsprechend wird das rechte Auge zuerst eine Adductionsinnervation erhalten um den Winkel r ρ r′, welch' letztere Linie durch p geht, und sodann eine Seitenwendungsinnervation um den Winkel r′ ρ r″, welch' letztere Linie durch p′ geht. Das linke Auge, dessen Gesichtslinie λ l parallel mit der des anderen Auges verlief, wird von zwei entgegengesetzten und gleich starken Innervationen betroffen, und zwar von der Adductionsinnervation um den Winkel l λ l′ nach rechts und von der Seitenwendungsinnervation um den Winkel l λ l″ nach links. Da die beiden Innervationen einander aufheben, so wird die Gesichtslinie nicht abgelenkt, wodurch der Blickpunkt mit dem Durchschnittspunkte der Linien λ l und ρ r″, p′ zusammenfällt. Dabei macht das betrachtete Object eine Scheinbewegung nach links, also gegen die linke Schläfe, was sich daraus erklärt, dass das Doppelauge eine Drehung nach links gemacht hatte.

Als Beweis dafür, dass das unbewegte, linke Auge von den erwähnten Innervationen betroffen wird, gilt folgender Versuch:

Wird nämlich das mit dem Prisma bewaffnete Auge mit der Hand verdeckt, so macht das nunmehr vom linken Auge allein betrachtete Object eine Scheinbewegung nach rechts, also gegen die Nase, weil das rechte Auge beim Aufhören der durch das Prisma hervorgerufenen, nach links drehenden Innervation nach rechts in seine alte Stellung zurückkehrt, während das linke trotz des Wegfalles der auf ihn einwirkenden Innervationen seine Stellung beibehält, wobei das Doppelauge ebenfalls in seine alte Stellung, also nach rechts zurückkehrt.

Hier sei beiläufig erwähnt, dass die meisten Augen beim Blick in die Ferne stärkere adducirende als abducirende Prismen überwinden, d. i. durch erhöhte Convergenz resp. Divergenz besiegen, und dass dieses Verhältniss, je näher dem Auge der Blickpunkt liegt, sich zu Gunsten der Externi ändert, indem für nahe Objectsdistanzen abducirende Prismen von relativ grossem Winkelwerthe durch Abduction überwunden werden. Später werden wir auf diese Verhältnisse etwas näher eingehen.

Vertical brechende Prismen, das sind solche, deren Basis nach oben oder nach unten vor das Auge gelegt wird, können von Ungeübten fast gar nicht, von Geübten nur solche von kleinem Winkelwerthe überwunden werden. Gewöhnlich sind es Prismen von zwei oder drei Graden, bei welchen die vertical über einander stehenden Doppelbilder durch Innervation der Senker resp. der Heber verschmolzen werden können, während stärkere Grade unbesiegbare Diplopie erzeugen. Ausnahmsweise werden, besonders von hochgradig myopischen Augen, Prismen von höherem Winkelwerthe überwunden; Verfasser selbst kann Prismen von 15^0 in verticaler Richtung überwinden.

Die Innervation der hebenden oder senkenden Muskeln, die nöthig wird, um die durch die Prismen hervorgerufenen Doppelbilder zur Vereinigung zu bringen, überträgt sich jedoch nicht auf die associirten Muskeln des anderen Auges, da sonst dieses vom Objecte nach oben resp. nach unten abirren würde. Wollte man annehmen, dass diese Abweichung durch eine Innervation der antagonistischen Gruppe corrigirt

werde, so müsste man zugeben, dass diese letztere Innervation auf die associirten Muskeln des bewaffneten Auges übertragen werde und daher dieses vom Objecte abdrängen müsste.

Es ist daher sicher, dass diese Innervation sich auf das andere Auge nicht überträgt, und dass somit dieser Vorgang eine Abweichung von der gleichmässigen Innervation beider Augen bildet.

Man kann diese Loslösung von der gemeinschaftlichen Innervation beider Augen, welche von den hebenden und senkenden Muskeln unternommen wird, noch durch andere Thatsachen illustriren.

Wenn man das eine der zwei stereoskopischen Bilder, welche verschmolzen werden sollen, um etwas nach oben oder unten verschiebt, so gelingt die Vereinigung ebenso vollkommen, als wenn die zusammengehörigen Punkte beider Bilder in einer horizontalen Linie, und nicht einer höher als der andere läge.

Hering betrachtet diesen Widerspruch gegen seine Lehre als einen jener zahlreichen Fälle, wo eine physiologische Mitbewegung durch Uebung von der ursprünglich innervirten losgelöst werden kann, und sieht gerade in der Schwierigkeit, mit welcher vertical brechende Prismen von nur etwas erheblichem Winkelwerthe überwunden werden, den besten Beweis dafür, dass die gleichmässige Innervation beider Augen eine angeborene zu einer physiologisch verknüpften Mitbewegung führende Qualität des Doppelauges ist.

§ 55. Es wurde schon früher erwähnt, dass nur bei einem Bruchtheile der Menschen, namentlich bei Emmetropen, die seitlichen Augenmuskeln beim Blick in die Ferne mit parallelen Gesichtslinien vollkommen entspannt sind, während eine grosse Menge von Individuen diese gleichmässige Entspannung bei Divergenz der Gesichtslinien, und endlich fast ebenso viele Menschen bei einem bestimmten Grade von Convergenz erlangen. Ist demnach die Ruhelage der Augen erst bei divergenten Gesichtslinien erreicht, dann müssen die Mm. rect. interni beim Blick in die Ferne eigens innervirt werden, um die Gesichtslinien mit einander parallel zu machen.

Sind aber die seitlichen Muskeln bei einer bestimmten Convergenz der Gesichtslinien entspannt, dann müssen die Mm. rect. externi durch eine besondere Innervation die Gesichtslinien parallel stellen, wenn der Blickpunkt in der Ferne liegt.

Der Grund der Divergenz der Gesichtslinien bei der Ruhelage des Auges liegt in einem elastischen Ueberwiegen der Mm. rect. externi über die Interni. Der Grund für die Convergenz liegt aber nur theilweise in diesem elastischen Ueberwiegen, indem in einer grossen Anzahl von Fällen die der Accommodation als Mitbewegung associirte Convergenz der Gesichtslinien theilweise oder allein die Gleichgewichtsstörung zu Ungunsten der Mm. rect. externi erklärt.

v. Graefe, der auf den Muskelfehler der Divergenz zuerst aufmerksam gemacht hat, belegte diese Anomalie mit dem Ausdruck: Insufficienz der Interni, ein Ausdruck, der, so wenig er dem damit bezeichneten Zustande entspricht, und so sehr er zu Missverständnissen Veranlassung gibt, dennoch beibehalten wurde und gewohnheitsgemäss noch immer angewendet wird.

v. Graefe hat dieses Ueberwiegen der äusseren Augenmuskeln über die inneren zuerst bei höhergradig myopischen Individuen und

beim Blick auf nahe Gegenstände entdeckt, und eine Methode angegeben, um den Grad der entstehenden Divergenz zu messen. Diese Methode führt desshalb den Namen des Graefe'schen Gleichgewichtsversuches.

Die Methode, wie sie ursprünglich von v. Graefe geübt wurde, besteht in Folgendem:

Vor das eine Auge (bei verschiedener Sehschärfe vor das schwächere) wird ein vertical brechendes Prisma von 8—10° mit der Basis nach oben oder unten gelegt, wodurch, wie schon früher erwähnt wurde, nicht zu vereinigende über einander stehende Doppelbilder entstehen. Als Object diente ein schwarzer, nicht zu grosser Punkt auf weissem Papier, durch welchen eine feine verticale Linie gezogen war.

Bestand Gleichgewicht aller seitlichen Augenmuskeln, so mussten die beiden Bilder vertical über einander liegen. War aber Ueberwiegen der Externi zugegen, so entstanden gekreuzte, bei Vorhandensein von Ueberwiegen der Interni gleichnamige Doppelbilder.

Es stellte sich jedoch bald heraus, dass das Object unzweckmässig gewählt war, weil auch bei Bestehen von Insufficienz der Interni das dem bewaffneten Auge zugehörige Bild zuweilen auf der Linie unterhalb resp. oberhalb des central fixirten Punktes lag, was, wie schon v. Graefe erkannte, darin seinen Grund hat, dass der Sinn für Symmetrie, der vielen Menschen eigen ist, eine Convergenzinnervation anregt, durch welche die sonst gekreuzten Doppelbilder vertical über einander gebracht werden.

Es ist desshalb vortheilhafter, sich eines blossen Punktes oder eines solchen mit einer durch denselben geführten Horizontallinie zu bedienen. Durch die letztere hat man den Vortheil, dass der Ort des Trugbildes nach Höhe und Breite besser angegeben werden kann.

Um den Grad der Divergenz zu messen, legte v. Graefe vor das fixirende Auge abducirende Prismen von steigendem Winkelgrade, bis die Doppelbilder wieder vertical über einander lagen. Der Grad des Prismas, durch welches dies zustande kam, gab den Grad der Insufficienz der Interni an.

Der Graefe'sche Gleichgewichtsversuch ist ein vortreffliches Mittel, um Differenzen in den elastischen Kräften der seitlichen Augenmuskeln aufzufinden. Er eignet sich aber zur Bestimmung des Grades, namentlich stärkerer Abweichungen des Auges, nicht gut, weil hiebei ein beständiges Schwanken in dem Grade der Insufficienz wahrzunehmen ist.

Macht man bei Emmetropen, wenn der Blick direct in die Ferne gerichtet ist, den Graefe'schen Gleichgewichtsversuch, indem man z. B. eine ferne stehende Flamme fixiren lässt, so entstehen in den meisten Fällen vertical über einander stehende Doppelbilder, wodurch vollständiges Gleichgewicht zwischen den seitlichen Augenmuskeln erwiesen ist.

Setzen wir aber den Versuch fort, während das Object beständig angenähert wird, bis es sich etwa 10″ vor den Augen des Beobachtenden befindet, so verwandeln sich die vertical über einander stehenden Doppelbilder allmälig in gekreuzte, deren seitliche Distanz immer mehr zunimmt.

Diese Thatsache zeigt mit Sicherheit, dass der Zusammenhang der Accommodation mit der Convergenz ein etwas loser ist, so dass einem bestimmten Accommodationsgrade ein etwas geringerer Convergenz-

grad entspricht. Denn wäre dies nicht der Fall und entspräche die jeweilige Convergenzinnervation vollständig der Accommodationsspannung, so müsste das Bild des mit dem Prisma bewaffneten Auges vertical über resp. unter den von dem anderen Auge fixirten Punkt zu liegen kommen. Unter dieser Voraussetzung müsste ebenso bei Verdecken eines von zwei Augen, deren seitliche Muskeln beim Blick in die Ferne vollkommenes Gleichgewicht zeigen, ersteres auf das nahe Object eingestellt bleiben, welches von dem freigebliebenen Auge fixirt wird.

Aber auch dies ist nicht der Fall, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man das Auge statt mit der Hand mit einem Stück Milchglas verdeckt, welches ebenfalls den binoculären Sehact unterbricht, dabei aber den Vortheil gewährt, dass die Stellung des Auges an der Lage der durchscheinenden Iris controlirt werden kann. Es zeigt sich nämlich in solchen Fällen stets ein leichtes Divergiren des verdeckten Auges.

Wird das mit dem Prisma bewaffnete oder das verdeckte Auge wieder freigegeben, dann kehrt das abgelenkte Auge in die fixirende Stellung zurück, indem eine erneuerte Adductionsinnervation (von v. Graefe Fusionsinnervation genannt) eintritt.

Die angeführten Beobachtungen mit dem Verticalprisma ergeben auch einen scheinbaren Widerspruch gegen das Gesetz der gleichmässigen Innervation beider Augen, indem das freie Auge central fixirt, während das andere nach aussen abgelenkt erscheint.

Um diesen Widerspruch zu beseitigen und die bei dem Prismaversuche wirkenden Innervationen zu verstehen, müssen wir den Graefeschen Gleichgewichtsversuch nach dieser Richtung etwas genauer untersuchen.

Wird z. B. ein Prisma von 8^0 mit der Basis nach abwärts vor das rechte Auge eines Individuums gelegt, so wird der binoculäre Sehact augenblicklich unterbrochen, indem das Bild des von dem anderen Auge fixirten Objectes nicht auf die Fovea centralis des mit dem Prisma bewaffneten Auges, sondern unterhalb derselben auf die Netzhaut fällt, wesshalb ersteres nach oben von dem central fixirten projicirt wird.

Im selben Momente, als der binoculäre Sehact unterbrochen wird, sind beide Augen dem Gleichgewichte ihrer seitlichen Muskeln überlassen. Besteht ein solches, so bleiben das central fixirte Object und sein Doppelbild vertical über einander stehen und es wirkt keine neuerliche Innervation ein. Besteht aber Ueberwiegen der Externi oder Interni, so lenkt das bewaffnete Auge temporalwärts oder nasalwärts ab.

Wir wollen zuerst den Fall von Ueberwiegen der Externi, also Insufficienz der Interni erörtern.

Bei Unterbrechung des binoculären Sehactes hört die adducirende Fusionsinnervation augenblicklich auf, und zwar nach dem Gesetze der gleichmässigen Innervation, selbstverständlich an beiden Augen. Das bewaffnete Auge wird desshalb nach aussen abgelenkt, das nicht bewaffnete müsste seine fixirende Stellung verlieren, wenn nicht eine neuerliche Innervation des Internus dasselbe auf den Fixationspunkt zurückführen würde. Diese ist aber keine Adductions-, sondern eine Seitenwendungsinnervation und überträgt sich desshalb nicht auf den Internus, sondern auf den Externus des bewaffneten Auges und steigert desshalb dessen temporale Ablenkung auf das Doppelte.

Der Grad dieser Ablenkung ist desshalb nicht der Ausdruck der Insufficienz eines Internus, sondern beider. Beim Messen des Grades der Divergenz durch vor das fixirende Auge zu legende abducirende Prismen ergeben sich die folgenden Innervationsverhältnisse.

Das abducirende Prisma, welches das Bild des Objectes auf eine nach innen von der Fovea gelegene Netzhautstelle bringt, zwingt das Auge, eine ebenso starke Abduction, als sie sich auf dem mit dem Verticalprisma bewaffneten Auge zeigte, auszuführen, um die Fovea centralis an die Stelle des Bildes zu bringen.

Diese Seitenwendungsinnervation überträgt sich aber auf den Internus des anderen Auges, so dass dieses in seine ursprüngliche Stellung zurückkehrt. Es wird desshalb auch das nunmehr unter der Fovea liegende Bild dieses Auges vertical nach oben über das central fixirte Object verlegt.

Ein specielles Beispiel wird diese Innervationsverhältnisse noch genauer beleuchten.

Es betrage das elastische Ueberwiegen eines Externus über den Internus die Winkelgrösse a. Bei Ausführung des Gleichgewichtsversuches muss sich desshalb das mit dem vertical brechenden Prisma bewaffnete Auge um den Winkel a nach aussen drehen, da die die Fixation ermöglichende Fusionsinnervation a verloren gegangen ist. Auf dem freien Auge musste zum Ersatze dieser verloren gegangenen Innervation eine gleichwerthige neue Innervation eintreten, welche, sich auf den Externus des bewaffneten Auges übertragend, dieses Auge nochmals um den Winkel a nach aussen dreht, so dass die ganze Ablenkung desselben 2a beträgt.

Sollen die Doppelbilder über einander gebracht werden, so muss vor das fixirende Auge ein Prisma mit dem Winkelwerthe von 4a gelegt werden (es entspricht nämlich einer Drehung des Auges von geringem Winkelwerthe der doppelte Winkelwerth eines Glasprismas). Durch dieses Prisma wird das fixirende Auge gezwungen eine Drehung von 2a temporalwärts zu machen, welche sich aber auf den Internus des nach aussen abgelenkten Auges überträgt, um dieses, welches um den Winkelwerth 2a nach aussen gedreht war, in seine ursprüngliche Lage zurückzuführen.

Ergibt desshalb der Gleichgewichtsversuch ein in Winkelwerthen eines Prismas ausgedrücktes Resultat, so gibt der halbe Winkelwerth dieses Prismas den Ausdruck für das elastische Ueberwiegen eines seitlichen Muskels über seinen Antagonisten oder ¼ dieses Winkelwerthes einen Ausdruck für die Insufficienz in Winkelwerthen einer Augendrehung an. Was bisher von den Innervationsverhältnissen beim Gleichgewichtsversuche an Augen mit Insufficienz der Interni ausgesagt wurde, gilt mutatis mutandis auch bei Augen mit Ueberwiegen der Interni.

Uebertragen wir das soeben Erörterte auf den früher erwähnten Versuch, bei welchem in Augen, die beim Blick in die Ferne Gleichgewicht der seitlichen Augenmuskeln darbieten, bei Annäherung des Blickpunktes gekreuzte Doppelbilder auftraten, so ergibt sich die behauptete Thatsache, dass beim Blicke auf kurze Distanzen Insufficienz der Interni auftritt, wenn auch bei parallelen Gesichtslinien Gleichgewicht der seitlichen Augenmuskeln bestand.

Nachdem wir diese Thatsachen kennen gelernt haben, lässt sich schon in vorhinein vermuthen, dass Augen, deren seitliche Augenmuskeln erst dann entspannt sind, wenn ihre Gesichtslinien divergiren, beim Blick auf kurze Distanzen und bei Ausschluss eines Auges eine erhöhte Divergenz zeigen werden, und dass jene Augen, deren seitliche Muskeln erst bei einem gewissen Grade von Convergenz sich im gegenseitigen Gleichgewichte befinden, beim Sehen auf kurze Distanzen eine Verringerung dieses Ueberwiegens der Interni, ja sogar vielleicht vollkommenes Gleichgewicht darbieten werden.

Diese Vermuthung wird durch das Experiment bestätigt. Es ergibt sich aus diesen Thatsachen, dass die bei der Convergenz passiv gespannten Mm. recti externi eine mit dem Grade der Convergenz steigende Erhöhung ihrer Elasticität erleiden, und dass diese Steigerung nur beim binoculären Sehacte durch eine erhöhte Adductionsinnervation ausgeglichen wird, während bei Ausschluss eines Auges diese vermehrte Elasticität durch eine Veränderung in der Stellung des Auges sich ausdrückt.

Indem wir, wie schon erwähnt, den bereits eingebürgerten, wenn auch unrichtigen Ausdruck „Insufficienz“ nur unter dem ausdrücklichen Vorbehalte acceptiren, dass wir darunter die Unfähigkeit der Adductoren oder Abductoren, ihrem mächtigeren Antagonisten bei Ausschluss des binoculären Sehactes Stand zu halten, verstehen, erscheint es wichtig, von einer absoluten und relativen Insufficienz der Interni und einer absoluten und relativen Insufficienz der Externi zu sprechen.

Unter absoluter Insufficienz der Interni verstehen wir jenen Zustand der Augenmuskeln, bei welchem sich, wenn die Gesichtslinien parallel in die Ferne gerichtet sind, Divergenz der Gesichtslinien unter Anwendung eines Höhenprismas oder beim Verdecken eines Auges wahrnehmen lässt. Wir nennen diese Insufficienz desshalb absolut, weil beim Blicke in die Ferne bei normalen Augen sowohl die Accommodation als auch die seitlichen Muskeln entspannt zu sein pflegen und keine die Spannung eines Muskels erhöhende Ursache zu Tage tritt.

Ist der Blickpunkt den Augen genähert und zeigt sich da eine Insufficienz der Interni, dann ist dieselbe relativ, weil die passive Spannung des Externus bei erhöhter Convergenz ganz oder theilweise den Grund der Divergenz abgibt, ersteres, wenn beim Blick in die Ferne Gleichgewicht, letzteres, wenn schon Insufficienz der Interni vorhanden war, die nunmehr selbstverständlich vermehrt erscheint.

Die bei der Insufficienz der Interni unter dem Höhenprisma oder unter einer Decke entstehende Divergenz wurde von Albrecht v. Graefe dynamische Divergenz oder dynamisches Auswärtsschielen, von Alfred Graefe latente Divergenz oder latentes Auswärtsschielen genannt.

Auch die Insufficienz der Externi haben wir in eine absolute und relative eingetheilt. Unter der relativen, von der wir zuerst sprechen wollen, weil sie am allerhäufigsten vorkommt, verstehen wir jenes Ueberwiegen der Interni über die Externi, welches durch erhöhte Innervation als Mitbewegung einer Accommodationsanspannung zustande kommt.

Erfahrungsgemäss tritt sie nur bei Hypermetropen auf, und meist nur beim Blicke in die Ferne, während sie bei steigender Convergenz

sich allmälig theilweise oder ganz verliert, eine Thatsache, die wieder nur Folge ist der passiv erhöhten Spannung des Externus.

Absolut ist diese Insufficienz, wenn bei parallelen Gesichtslinien und bei Ausschluss der Accommodation latente Convergenz sich vorfindet. Am seltensten ist dieser Zustand bei Emmetropen, etwas häufiger bei Myopen gewissen Grades, am allerhäufigsten bei Hypermetropen. Um bei diesen die absolute Insufficienz zu eruiren, muss vorerst die Accommodation durch ein Mydriaticum vollständig gelähmt und die nun hervortretende totale Hypermetropie vollkommen corrigirt werden. Ergibt sich jetzt noch ein Ueberwiegen der Interni, dann müssen wir den Zustand als absolute Insufficienz erklären, weil weder von Seite der Accommodation noch von Seite der Convergenz ein Einfluss auf die Stellung der Augen ausgeübt werden kann.

Haben wir den Einfluss der Accommodation in solchen Fällen nicht ausgeschlossen, dann ist die bestehende Insufficienz der Externi zwar eine relative, aber dies nur theilweise, indem zur absoluten Insufficienz der Einfluss der Accommodation hinzutritt.

Dreierlei Beziehungen der Insufficienzen müssen noch hervorgehoben werden. Zuvörderst ist das Muskelgleichgewicht kein durch das ganze Leben hindurch stabiles, es wird vielmehr von verschiedenen Verhältnissen dauernd oder zeitweilig beeinflusst. Vor Allem steht die Thatsache fest, dass bei der ungeheueren Ueberzahl der Menschen in der Kindheit die Convergenzmuskeln, bei Erwachsenen die abducirenden Muskeln prävaliren. Es ist eine schon den alten Aerzten bekannte Thatsache, dass bei Verlust eines Auges während der Kinderjahre Strabismus convergens, bei Erwachsenen aber Strabismus divergens zu entstehen pflegt. Ein weiterer Beweis für die Richtigkeit obiger Behauptung ist die Thatsache, dass das convergirende Schielen zur Zeit der Pubertät „auszuwachsen“ beginnt, was nichts anderes bedeutet, als dass zu dieser Zeit die Mm. recti externi an Kraft zu gewinnen beginnen, wodurch der Stellungsfehler des Auges verringert wird und schliesslich vollständig corrigirt werden kann.

In einem gewissen Widerspruche damit stehen Fälle von Strabismus convergens, welcher bei raschem Wachsen von Myopie während der Pubertätsjahre aufzutreten pflegt. Dieser Widerspruch lässt sich aber damit beseitigen, dass in diesen Fällen auch schon vor dem Auftreten des Strabismus Insufficienz der Externi nachzuweisen ist, und dass diese nur desshalb in manifestes Schielen überschlägt, weil bei dem plötzlichen Anwachsen der Myopie der Werth des binoculären Sehens für die Ferne wesentlich herabgesetzt und so der Impuls zu einer Fusionsinnervation der Externi verringert wird, resp. vollständig verloren geht. Ausser den Wachsthumsverhältnissen können aber auch langdauernde und einseitige Uebungen, das Tragen von Convex-Concavgläsern oder Prismen und endlich die Veränderungen in der Refraction im Verlaufe des Lebens auf die Veränderungen des Muskelgleichgewichtes Einfluss nehmen.

In zweiter Beziehung muss darauf hingewiesen werden, dass das Muskelgleichgewicht ähnlich wie die Refractionszustände, und vielleicht noch sicherer als diese, hereditär ist, und zwar derart, dass die Disposition zur Ausbildung eines bestimmten Muskelgleichgewichtes bei vollendetem Ausbau des Auges durch Vererbung übertragen wird.

Drittens ist mit der Insufficienz der Interni und der Externi zuweilen eine eigenthümliche Kopfhaltung in Verbindung, welche nur dann eintritt, wenn eines der beiden Augen in seiner Sehschärfe wesentlich herabgesetzt ist. Allerdings wird diese schiefe Kopfhaltung meistens bei Schielenden angetroffen; aber auch bei Nichtschielenden findet sie sich zuweilen vor, wenn eines der Augen für den binoculären Sehact werthlos geworden ist.

Die Richtung, in welcher diese Kopfdrehung stattfindet, ist die gegen den schwächeren Muskel gekehrte. Besteht z. B. Insufficienz der Interni, und ist das linke Auge das sehkräftige, dann wird der Kopf nach rechts gedreht; besteht aber Ueberwiegen der Interni und ist wieder das linke Auge das fixirende, so findet die Drehung nach links statt.

Der Grund dieser schiefen Kopfhaltung ist folgender:

Sehen emmetropische Augen, welche vollkommenes Gleichgewicht der seitlichen Augenmuskeln besitzen, geradeaus in die Ferne und bedeckt man eines der beiden Augen, dann bleibt das andere in der Fixation ruhig stehen, so dass die Pupille ungefähr die Mitte der Lidspalte einnimmt. Ist aber Insufficienz der inneren oder äusseren Augenmuskeln vorhanden, dann wird bei Unterbrechung des binoculären Sehactes die die Insufficienz corrigirende Innervation der schwächeren Muskeln aufhören, und es müsste das frei gebliebene Auge bei Insufficienz der Interni nach aussen, bei Insufficienz der Externi nach innen fliehen und selbstverständlich dadurch die fixirende Stellung verlieren. Um diese wieder zu gewinnen geschieht zweierlei.

1. Der schwächere Muskel wird durch eine eigene Innervation auf das Fixationsobject zurückgeführt, wobei sich nach dem Gesetze der gleichmässigen Innervation beider Augen diese Innervation auf den associirten Muskel an dem bedeckten Auge überträgt oder

2. der Kopf wird derartig gedreht, dass der stärkere Muskel entspannt, der schwächere passiv angespannt wird, wodurch beide ins Gleichgewicht kommen.

Dasselbe muss geschehen, wenn nicht das eine Auge verdeckt wird, sondern wenn es durch einen höheren Grad von Amblyopie vom binoculären Sehacte ausgeschlossen bleibt und eine irgendwie erhebliche Störung des Muskelgleichgewichtes vorhanden ist.

Es ist selbstverständlich, dass die schiefe Kopfhaltung bei den Strabotischen auf denselben Gründen beruht, und dies ist ein wichtiges Argument für die Annahme, dass der Strabismus aus einer Störung des Muskelgleichgewichtes hervortrete.

Von grösster Wichtigkeit ist es, das elastische Ueberwiegen der Abductoren- oder Adductorengruppe von der Energie oder Contractionsfähigkeit dieser Muskeln zu unterscheiden. Die letztere ist bei den verschiedenen Convergenzstellungen der Augen eine etwas verschiedene und wird durch Prüfung der Augen mittelst ad- und abducirender Prismen gefunden, indem das stärkste Prisma gesucht wird, welches bei einer bestimmten Convergenzstellung durch Adduction oder Abduction überwunden wird. Diese Prismen werden mit dem Ausdrucke Adductions- und Abductionsprismen bezeichnet.

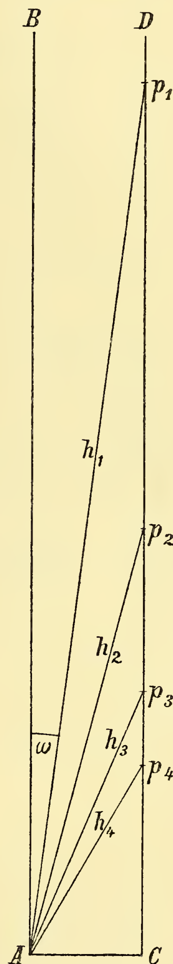
Die Energie der Interni bei jedem einzelnen Convergenzgrade wurde von v. Graefe als Adductionsfähigkeit bezeichnet, deren

Grösse sich aus dem Adductionsprisma und aus dem Grade einer etwa bestehenden Insufficienz der Interni zusammensetzt.

Dagegen verstand v. Graefe unter Fusionsbreite jenen Spielraum der Convergenz bei einem bestimmten Accommodationszustande, welcher sich aus den Graden des Abductions- und Adductionsprismas zusammensetzt.

Als Adductionsbreite wurde von v. Graefe der gesammte für die Convergenz disponible Spielraum bezeichnet. Dieser setzt sich aus den Graden des bei parallelen Gesichtslinien überwundenen Abductionsprismas und der gesammten Convergenz bis zu einem sehr nahe vor den Augen liegenden Punkte, von welchem an der binoculäre Sehact aufhört, zusammen.

Fig. 47.



Nagel, welcher die Adductionsbreite als Convergenz- oder Fusionsbreite bezeichnet, hat für diese Strecke einen mathematischen Ausdruck gefunden, welcher die Convergenz in vollständige Uebereinstimmung mit der Accommodation und deren Bezeichnung zu bringen imstande ist.

In Fig. 47 ist A der Drehungspunkt des linken Auges, A B seine direct nach vorne gerichtete Gesichtslinie, A C die halbe Verbindungslinie der Drehungscentren und C D der Durchschnitt der Medianebene mit der Ebene des Papiers und mit A B parallel, ziehen wir ferner $A\,p_1 = h_1 = 1$ m, welche Linie mit A B, also auch mit C D den Winkel ω bilden soll, ziehen wir ferner von A die Linien $A\,p_2 = h_2$, $A\,p_3 = h_3$, $A\,p_4 = h_4$, welche von der vorhergehenden um je einen Winkel ω entfernt sind, bezeichnen wir ferner die Linie A C mit d, so ist:

$$d = h_1 \sin \omega = h_2 \sin 2\omega = h_3 \sin 3\omega = h_4 \sin 4\omega,$$

woraus sich die Proportion

$$\sin \omega : \sin 2\omega : \sin 3\omega : \sin 4\omega = \frac{1}{h_1} : \frac{1}{h_2} : \frac{1}{h_3} : \frac{1}{h_4}$$

ergibt.

Da ferner bei kleinen Winkeln das Verhältniss ihrer Sinusse dem Verhältnisse der Bogen gleichgesetzt werden kann, so verändert sich jene Proportion in:

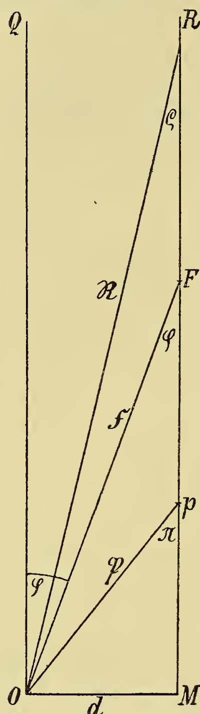
$$\omega : 2\omega : 3\omega : 4\omega = \frac{1}{h_1} : \frac{1}{h_2} : \frac{1}{h_3} : \frac{1}{h_4}$$

d. i. die Entfernung des Fixirpunktes vom Auge steht im umgekehrten Verhältnisse zu dem Winkel, den die Gesichtslinie mit der Linie A B bildet.

Beträgt also h_1 1 m, dann ist $h_2 = 1/2$ m, $h_3 = 1/3$ m, $h_4 = 1/4$ m. Da ferner der Winkel ω die Fusionsbewegung der Gesichtslinien von der geradeaus nach vorne gerichteten parallelen Stellung bis auf 1 m vermittelt, so wird er von Nagel als Meterwinkel bezeichnet und als Einheit für das Maass der verschiedenen Fusionswinkel aufgestellt.

Ist nun h_1 die Einheit, dann ist $h_1 \sin\omega = \sin\omega = d$, woraus erhellt, dass die Grösse des Winkels ω von der Grösse der Verbindungslinie der Drehungscentren abhängig ist. Dies gibt uns ein Mittel an die Hand, die Meterwinkel in Graden auszudrücken. Es zeigt die Berechnung, dass bei einer Länge von 64 mm, wie sie der Verbindungslinie der Drehungscentren durchschnittlich zukommt, der Meterwinkel (Mw) $= 1^0 50'$ ist.

Fig. 48.



Auf solche Weise lässt sich für jede Entfernung von p die Anzahl der Meterwinkel und somit die Grösse des Fusionswinkels in Graden berechnen. Um einen Ausdruck für die Convergenz- oder Fusionsbreite zu gewinnen, bedient sich Nagel folgender einfacher Construction.

Es haben in Fig. 48 A B, A C, C D dieselbe Bedeutung, wie in der vorigen Figur. Die Entfernung des Punctum proximum P von A sei $\mathfrak{P}$, die Entfernung des Punctum remotum R von A sei $\mathfrak{R}$, der Winkel, den $\mathfrak{P}$ mit A B und C D macht, heisse π und der Winkel von $\mathfrak{R}$ mit A B resp. C D heisse ρ. Ist ferner $\pi - \rho = \varphi$ der Winkel, den die Gesichtslinie machen muss, um vom Fernpunkte der Convergenz zu deren Nahepunkt zu gelangen, tragen wir endlich diesen Winkel an die gerade, nach vorne gerichtete Gesichtslinie A B auf, so schneidet der zweite Schenkel dieses Winkels $\mathfrak{F}$ die Medianlinie in F. Nun erhalten wir

$$d = \mathfrak{F} \sin\varphi = \mathfrak{P} \sin\pi = \mathfrak{R} \sin\rho,$$

und da bei kleinen Winkeln statt der Sinusse die Winkel gesetzt werden können

$$d = \mathfrak{F}\varphi = \mathfrak{P}\pi = \mathfrak{R}\rho$$

und da

$$\varphi = \pi - \rho,$$

ist

$$\frac{d}{\mathfrak{F}} = \frac{d}{\mathfrak{P}} - \frac{d}{\mathfrak{R}}$$

oder

$$\frac{1}{\mathfrak{F}} = \frac{1}{\mathfrak{P}} - \frac{1}{\mathfrak{R}}.$$

Wir können $\frac{1}{\mathfrak{F}}$ mit der Accommodationsbreite $\frac{1}{A}$ in Vergleich setzen, und da die einzelnen Punkte der positiven Strecken der Convergenzbreite in voller Uebereinstimmung sind mit den diesen Punkten entsprechenden Accommodationsbeträgen (bei Emmetropen), so ist die Gleichung

$$\frac{1}{\mathfrak{F}} = \frac{1}{\mathfrak{P}} - \frac{1}{\mathfrak{R}}$$

identisch mit der Gleichung

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{P} - \frac{1}{R}.$$

Ist z. B. das Object $^1/_4$ m von den Augen entfernt, so wird die zum Deutlichsehen auf diese Entfernung aufgewendete Accommodation bei Emmetropen ausgedrückt durch

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{25\text{ cm}} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{25\text{ cm}} = 4\text{D oder Meterlinsen.}$$

Die zu diesem Convergenzpunkt gehörenden Fusionswinkel werden ausgedrückt durch

$$\frac{1}{\mathfrak{F}} = \frac{1}{25\text{ cm}} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{25\text{ cm}} = 4\text{ (Mw) Meterwinkel.}$$

Diese Uebereinstimmung zwischen Accommodation und Convergenz, die nur unter der Voraussetzung der binoculären Verschmelzung der Netzhautbilder bei Emmetropie stattfindet, finden wir selbstverständlich nicht bei Ametropie. Sowohl bei Hypermetropie als auch bei Myopie finden wir Accommodationsanspannungen ohne Betheiligung der Convergenz und oft recht hohe Convergenzgrade ohne Betheiligung der Accommodation.

Bei Hypermetropie finden wir, besonders bei jugendlichen Personen, den ganzen oder einen grossen Theil der Refractionsfehler durch Accommodation „gedeckt", während die Gesichtslinien parallel sind, also gar keine Adduction stattgefunden hat. Demgemäss kann bei solcher Verschiedenheit der Fernpunktslagen von Accommodation und Convergenz die Lage des beiderseitigen Nahepunktes nicht dieselbe sein. Es ist auch in der That der Nahepunkt des hypermetropischen Auges im Vergleich mit dem des emmetropischen weiter hinausgerückt, während der Convergenznahepunkt derselbe ist wie im emmetropischen Auge.

Das myopische Auge ist ausserhalb seines Fernpunktes accommodationslos, während doch die Convergenz schon bis zum Fernpunkte thätig war. Desshalb fallen auch die Nahepunkte der Accommodation und der Convergenz bei Myopen nicht zusammen, sondern liegt der Nahepunkt der Convergenz weiter vom Auge ab als der der Accommodation, so dass es richtig ist, dass das Sehen der hochgradigen Myopen in der Nähe durch die Convergenz und nicht durch die Accommodation beschränkt ist.

Trotz dieser geringen Uebereinstimmung in den Lagen der Accommodations- und Fusionsbreite ist der Zusammenhang zwischen Convergenz und Accommodation doch immer noch so weit gewahrt, dass in jenen Sehstrecken, wo die Accommodation und Convergenz gleichzeitig wirksam sind, eine gewisse Anzahl von Meterlinsen der Accommodation der gleichen Anzahl Meterwinkel der Convergenz entspricht.

Handelt es sich z. B. um einen Hypermetropen von 6 Meterlinsen und ist diese Hypermetropie bei parallelen Gesichtslinien durch Accommodation vollständig gedeckt, liegt der accommodative Nahepunkt in 25 cm, dann beträgt jener Theil der Accommodation, welcher mit der Convergenz der Gesichtslinie verbunden ist, 4 Meterlinsen,

und ebenso ist der Betrag der Convergenz bis auf 25 cm vom Auge 4 Meterwinkel.

Aehnlich verhält es sich bei der Myopie. Ein Myope von 4 D convergirt für seinen Fernpunkt, ohne die Accommodation in Thätigkeit zu setzen; accommodirt er aber auf seinen Nahepunkt, der 7 cm vor dem Auge liegen mag, so beträgt die aufgewendete Accommodation 10 Meterlinsen und ebenso die aufgewendete Convergenz 10 Meterwinkel.

Durch die Verschiedenheit der Lage einerseits der Accommodationsbreite, andererseits der Fusionsbreite resultirt in Bezug auf den Zusammenhang zwischen Convergenz und Accommodation noch ein sehr wichtiges Verhältniss.

Nachdem der Hypermetrope beim Blicke in die Ferne mit parallelen Gesichtslinien einen mehr oder weniger grossen Theil seiner Accommodationsbreite dazu verwenden muss, um sein zu schwaches dioptrisches System auf Emmetropie zu corrigiren, bleibt nur ein Theil seiner Accommodationsbreite für jene Sehstrecke übrig, bei welcher Accommodation und Convergenz mit einander Hand in Hand gehen. Die Convergenzbreite, die jedenfalls grösser ist als dieser übrig bleibende Theil der Accommodationsbreite, wird also nur zum Theile erschöpft werden und ein beträchtlicher Theil derselben disponibel bleiben.

Beträgt, wie im früheren Beispiele, der für die Convergenz der Gesichtslinien übrig bleibende Theil der Accommodationsbreite 4 D und die Convergenzbreite, wie dies meistens der Fall ist, 20 Meterwinkel, so werden nur 4 Meterwinkel in Thätigkeit gesetzt werden, damit der Hypermetrope seinen Nahepunkt erreiche, und 16 Meterwinkel bleiben zur Disposition.

Bei dem Myopen hingegen, dessen Accommodation erst bei einer bestimmten Convergenz in Thätigkeit zu gerathen anfängt, wird der Accommodationspunkt mit dem der Convergenz zusammenfallen und nur sehr wenig von letzterer disponibel bleiben. Ja bei höhergradiger Myopie wird, wie schon wiederholt erwähnt wurde, der accommodative Nahepunkt binoculär gar nicht erreicht werden können, weil er diesseits des Nahepunktes der Convergenz liegt. Da nun ferner dieses Verhältniss für jeden Convergenzpunkt dasselbe bleibt, so wird es einleuchten, dass bei dem Hypermetropen die Convergenz in hohem Grade erleichtert, bei dem Myopen bedeutend erschwert sei.

Zudem kommt in Bezug auf die Convergenzerleichterung bei dem Hypermetropen noch der Umstand zu statten, dass die Accommodationsanspannung bei jedem Convergenzpunkte höher ist als bei Emmetropen, geschweige denn als bei Myopen. Diese erhöhte Accommodationsanspannung überträgt sich aber auf die Convergenzmuskeln in Form einer erhöhten Innervation derselben, so dass der nothwendige Convergenzgrad um so leichter erreicht werden kann.

§ 56. Wir haben schon wiederholt von dem Zusammenhange der Accommodation mit der Convergenz gesprochen und haben gesehen, dass derselbe als eine physiologische Mitbewegung aufzufassen ist, und zwar sowohl als eine solche der Accommodation in Bezug auf die Convergenz als auch eine solche der Convergenz in Bezug auf die Accommodation.

Dieser Zusammenhang ist jedoch kein absoluter, er kann, wie Donders zeigte, in nicht zu weiten Grenzen künstlich gelöst werden,

und diese Lösung ist der Inhalt des Begriffes der relativen Accommodation. Wir haben schon früher gesehen, dass bei einem bestimmten Convergenzgrade Convex- und Concavgläser von nicht zu starkem Brechwerthe vorgelegt werden können, ohne dass die Deutlichkeit des Sehens für kurze Zeit darunter leidet. Es kann demnach bei demselben Convergenzgrade die Accommodation um etwas mehr angespannt und ebenso um etwas entspannt werden. Aber auch bei demselben Accommodationszustande kann das deutliche Sehen bei vermehrter oder verringerter Convergenz eine Zeitlang fortdauern.

Nagel hat der Strecke, innerhalb welcher die Convergenz bei demselben Accommodationszustande wechseln kann, den Namen der relativen Convergenz- oder Fusionsbreite beigelegt.

Die Lösung des Zusammenhanges zwischen Accommodation und Convergenz ist jedoch nach beiden Beziehungen hin nur eine scheinbare, indem im Interresse des binoculären Sehens neue Innervationen auftreten, welche die in der einen Sphäre durch Alterationen in der anderen hervorgerufenen Veränderungen auszugleichen bestimmt sind.

Dass dem so sei, lässt sich leicht nachweisen.

Setzt man z. B. einem Emmetropen, welcher ein Object auf kurzer Distanz fixirt, die stärksten Convex- oder Concavgläser vor die Augen, mittelst welcher noch immer Einfachsehen erzielt wird, und färbt dabei das Bild des einen Auges durch Vorlegen eines rubinrothen oder violetten Glases, so entstehen Doppelbilder, welche bei Convexgläsern gekreuzte, bei Concavgläsern gleichnamige sind. Dieses Experiment gelingt jedoch nur, wenn ein stark glänzendes und schmales Object fixirt wird, wie es z. B. eine Kerzenflamme ist. Zudem können präexistente Störungen des Muskelgleichgewichtes Veränderungen in der Lage der resultirenden Doppelbilder hervorrufen. Es ist desshalb vortheilhafter, den Gleichgewichtsversuch mit der Färbung des Bildes an jenem Auge, welches mit dem Höhenprisma nicht bewaffnet ist, zu verbinden. Es zeigen sich dann stets die Doppelbilder in der früher beschriebenen Lage und kann diese leicht mit der Lage der Doppelbilder verglichen werden, welche der Gleichgewichtsversuch bei nicht bewaffneten Augen erzeugt.

Die Innervationen, welche bei den Versuchen über die relative Accommodationsbreite hervortreten, lassen sich leicht aus dem Gesetze der gleichmässigen Innervation beider Augen ableiten. Sowie beim Blick auf eine bestimmte endliche Distanz Convex- oder Concavgläser den Augen vorgelegt werden, lässt im ersten Fall die Innervation der Interni im Verhältnisse zur Entspannung der Accommodation nach und muss behufs binoculärer Verschmelzung eine neue Innervation den Internis zugeführt werden. Im anderen Falle, wo die Accommodation stärker angespannt werden muss, wird auch die Innervation der Interni vermehrt und muss eine entsprechende Innervation der Mm. externi eintreten, damit der binoculäre Fusionspunkt von den Augen festgehalten werde.

Wird auf irgend eine Weise aber der binoculäre Sehact unterbrochen, dann hören diese neuen Fusionsinnervationen auf und die Augen überlassen sich den durch die Veränderungen der Accommodation veränderten Lagen ihres Muskelgleichgewichtes.

Ebenso sicher lässt sich der Zusammenhang zwischen Accommodation und Convergenz nachweisen, wenn bei einer bestimmten Entfernung eines Objectes, also bei einem bestimmten Accommodationsbetrage, die Convergenz durch Vorlegen von ad- oder abducirenden Prismen wechselt. Einer der Beweise liegt darin, dass im ersten Augenblicke nach Vorsetzen solcher Prismen das Object undeutlich und verschwommen erscheint und erst nach Ablauf einer allerdings sehr kurzen Zeit scharf gesehen wird, und dass bei Entfernung der Prismen dieser Mangel an Schärfe im Sehen wiederkehrt, um nach einer weiteren kurzen Zeit dem scharfen Sehen Platz zu machen. Diese beim Vorlegen und Entfernen der Prismen momentan auftretende Verschlechterung des Sehens hat offenbar ihren Grund darin, dass der bestehende Accommodationszustand mit den neu geschaffenen Convergenzzuständen nicht übereinstimmt. Werden z. B. adducirende Prismen vorgelegt, so wird dadurch die Convergenz der Gesichtslinien vermehrt, während die Accommodation im ersten Augenblicke im ursprünglichen Zustande verharrt, wodurch eine Störung in der Uebereinstimmung der Accommodation mit dem Convergenzpunkte und desshalb Undeutlichkeit entsteht, welche allerdings rasch durch vermehrte Accommodation sich wieder verliert. Entfernt man nun die Prismen, so stellen sich die Gesichtslinien auf den etwas entfernteren wirklichen Objectspunkt ein, wodurch wegen abermaliger Störung in der Uebereinstimmung zwischen Convergenz und Accommodation Undeutlichkeit, bald aber durch Nachlassen der letzteren deutliches Sehen entsteht.

Ein zweiter Beweis, dass der oft erwähnte Zusammenhang durch Vorlegen von ad- oder abducirenden Prismen nicht aufgehoben wird, wurde von Loring erbracht. Dieser zeigte nämlich, dass beim Vorlegen adducirender Prismen der positive Theil der relativen Accommodationsbreite sich vergrössere, der negative sich vermindere, und dass umgekehrt beim Vorlegen abducirender Prismen der negative Theil der relativen Accommodationsbreite grösser werde, während der positive Theil sich verkleinert.

Als eine wirkliche Lösung des Zusammenhanges zwischen Accommodation und Convergenz führt Nagel Folgendes an:

Ist in Fig. 49 L R die Verbindungslinie zwischen den Drehungsmittelpunkten und befinden sich in A und B Objecte, welche in der Peripherie eines Kreises liegend hinter einander angesehen werden, so ist die Accommodation auf den Punkt A jedenfalls eine geringere als auf den Punkt B, weil dieser dem Auge näher liegt, und doch sind die Winkel L A R und L B R, das sind die Convergenzwinkel, einander gleich. Es bestehe demnach bei gleicher Convergenz eine verschiedene Accommodation, wobei die Differenz in den beiden Accommodationszuständen um so grösser ausfällt, als die Accommodation auf seitlich gelegene und nahe Objecte sich nach dem Accommodationszustande des näher gelegenen Auges richtet (Hering).

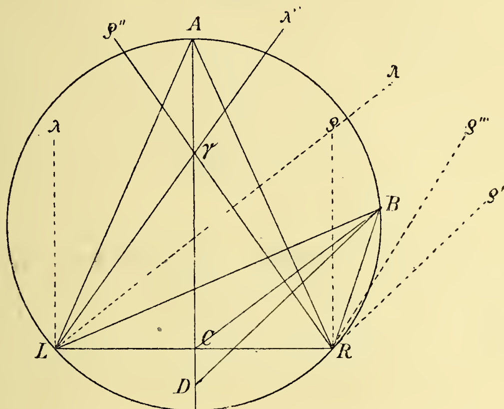
Dieser Behauptung liegt jedoch eine falsche Auffassung der Innervationsverhältnisse zu Grunde, die sich in Wirklichkeit folgendermassen gestalten:

Wenn der Blick von A nach B überführt werden soll, so muss das Doppelauge D eine Seitenwendung nach rechts um den Winkel A D B machen. Beide Augen erhalten demnach den Anstoss zu einer gleich

gerichteten und gleich grossen Seitenwendung, und zwar das linke Auge um den Winkel $\lambda L \lambda_{,}$, das rechte Auge um den Winkel $S R \delta$, nach rechts. Gleichzeitig aber wird auch das linke Auge um den Winkel $A L \lambda_{,,} = A L B$ eine Convergenzbewegung machen, wodurch der Convergenzpunkt nach γ verlegt wird. Da beide Drehungen in gleichem Sinne erfolgen, so summiren sie sich und die Blicklinie wird von A L nach B L überführt.

Auch auf das rechte Auge wirkt nebst der Seitenwendungsinnervation eine Innervation zur Convergenz um den Winkel $A R \rho_{,,}$. Diese beiden Innervationen haben aber entgegengesetzte Richtung und es muss daher die kleinere (Adductionsinnervation) von der grösseren (Seitenwendungsinnervation) abgezogen werden. Die Differenz dieser beiden Innervationen $\rho R \rho_{,,,}$ ist nun gleich dem Winkel A R B und es wird desshalb der Blick von A R nach B R überführt.

Fig. 49.



Man ersieht aus dieser Darstellung, dass die Winkel bei A und B nicht reine Convergenzwinkel, sondern aus Seitenwendungs- und Convergenzwinkel zusammengesetzte sind; ferner, dass die Convergenz bei A und B verschieden gross, und zwar beim Blicke auf den letzteren Punkt grösser ist, als beim Blicke auf A, und dass endlich die Convergenz eine solche ist, welche der Accommodation entspricht, indem $D\gamma = CB$.

Nach dem bis jetzt Erörterten lassen sich in Bezug auf Zusammenhang zwischen Accommodation und Convergenz folgende Grundsätze aufstellen:

1. Beim binoculären Sehen entspricht in genau gesetzmässiger Weise die Accommodation der Convergenz und umgekehrt. Künstlich erzeugte Ausnahmen von dieser Regel sind nur **scheinbare**, indem die genaue Uebereinstimmung in latenter Weise fortbesteht.

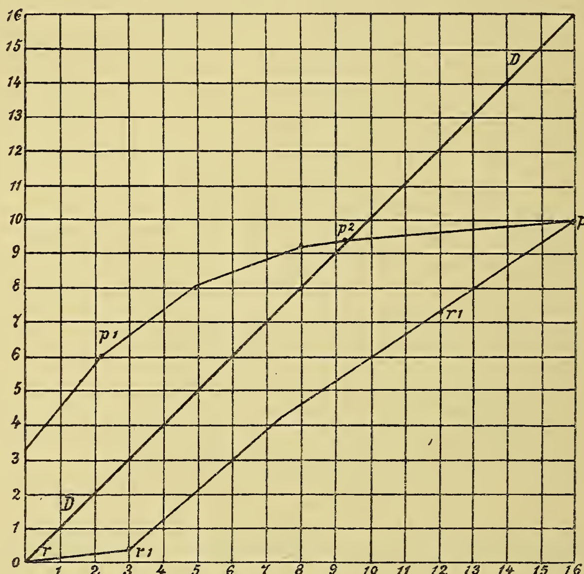
Eine wirkliche Ausnahme bildet nur die stärkere Convergenzinnervation bei Insufficienz der Interni, indem dieselbe stärker sein muss, als dem Blickpunkte und der Accommodation entspricht. Diese Insufficienzen sind aber entweder angeborene oder schreiten so langsam fort, dass diese neue Verbindung zwischen Accommodation und Convergenz

sich leicht in das Bewusstsein übertragen und keine falschen Vorstellungen über die Tiefenlage hervorrufen kann.

2. Beim monoculären Sehen bleibt die Convergenzinnervation immer um ein kleines hinter der Accommodationsinnervation zurück und hängt die Grösse dieser Differenz von dem Vorhandensein und der Grösse einer Insufficienz der Interni ab.

Schliesslich muss noch erwähnt werden, dass es Nagel auf Grundlage der von ihm gefundenen numerischen Uebereinstimmung zwischen Accommodation und Convergenz gelungen ist, das Donders'sche Schema der Accommodationsbreite nach dem Metermasse abzuändern und zwar so, wie es Fig. 50 zeigt.

Fig. 50.



Die queren Linien sind in derselben mit den Zahlen von 1—16 bezeichnet, und es bedeuten diese Zahlen ebenso viele Meterlinsen Accommodation. Die verticalen Linien tragen an ihrem unteren Ende dieselben Zahlen und bedeuten diese ebenso viele Meterwinkel.

Die Diagonallinie ist diejenige, welche die jeweiligen Convergenzpunkte mit einander verbindet.

Für jeden Convergenzpunkt lässt sich demnach die Grösse der relativen Accommodationsbreite sowie die der beiden Theile, aus welchen sie zusammengesetzt ist, leicht ablesen, der negative Theil liegt unterhalb, der positive oberhalb der Convergenzlinie.

Dieselbe Figur zeigt aber auch die Grenzen und die Ausdehnung der Convergenzbreite. Der positive Theil wird dabei nach rechts, der negative nach links von der Convergenzlinie zu liegen kommen. So wird z. B. bei einer Convergenz von 5 Meterwinkel, also bei einer Accommodation von 5 D, der negative Theil der Accommodationsbreite beinahe 3 D, der positive ebenfalls 3 D betragen.

Die positive Convergenzbreite aber erscheint mit 3 ½ Meterwinkel und etwas grösser noch der negative Theil derselben verzeichnet. Es gilt daher der von Nagel aufgestellte Satz: „Die Grenzcurven der relativen Accommodationsbreiten können zugleich als Grenzcurven der relativen Fusionsbreiten gelten, so jedoch, dass die Nahepunktscurve der ersteren die Fernpunktscurve der letzteren und die Fernpunktscurve der ersteren die Nahepunktscurve der letzteren ist. Die relativen Fusionsbreiten sind für jeden Accommodationsbetrag auf der diesem entsprechenden Horizontallinie abzulesen; der positive Theil liegt zur Rechten, der negative Theil zur Linken der Diagonale des unbewaffneten Binocularsehens."

Diese Regel findet zwar in dem grössten Theile der Convergenzstrecke ihre Anwendung, für die Endpunkte derselben verliert sie jedoch ihre Gültigkeit, wie ein Blick auf das Diagramm lehrt. Bei parallelen Gesichtslinien sollte nach diesem weder ein positiver noch ein negativer Theil der Convergenzbreite bestehen, während bei emmetropischen Augen erfahrungsgemäss sowohl adducirende als auch abducirende Prismen beim Blick in die Ferne überwunden werden.

§ 57. Nach dem Vorhergehenden wird es leicht sein einzusehen, welche Veränderungen im Muskelgleichgewichte durch das Tragen convexer oder concaver Brillen hervorgerufen werden, und welche Veränderungen die relative Accommodations- und Convergenzbreite dadurch erleidet.

Es ist klar, dass die Brillen nur durch Veränderung der Accommodation diese Einflüsse ausüben können, denn der Impuls zur Accommodation führt, wie wir wiederholt gezeigt haben, als Mitbewegung eine Innervation der Interni herbei und umgekehrt eine Accommodationsentspannung eine Verringerung der Innervation der Interni. Wird durch das Tragen von Brillen die Accommodation nicht tangirt, so erfolgt auch keine Veränderung in der Innervation der seitlichen Augenmuskeln und in Folge dessen keine Störung des gewohnten Muskelgleichgewichtes.

Wird z. B. ein Myope durch seine Brillen für die unendliche Entfernung corrigirt, so wird durch diese Correction die Accommodation nicht angeregt und in Folge dessen das Muskelgleichgewicht nicht gestört werden.

Bedient sich jemand, der absolute Hypermetropie besitzt, des schwächsten Convexglases, welches die best erreichbare Sehschärfe vermittelt, dann wird durch diese Gläser die Accommodation nicht mehr entspannt, als sie ohnehin bei der Unmöglichkeit die Hypermetropie zu corrigiren schon früher gewesen ist. In Folge dessen wird auch eine Verringerung der Innervation der Interni und eine Störung des Muskelgleichgewichtes nicht zu bemerken sein.

In einem dritten Falle bestehe natürliche oder künstliche Accommodationslähmung bei Hypermetropie. Die für die Ferne corrigirenden Gläser werden selbstverständlich ebenso wenig wie im vorigen Falle eine Entspannung der Interni und eine Störung des Muskelgleichgewichtes herbeiführen. In allen anderen Fällen, in welchen Convex- und Concavgläser eine Veränderung in der Accommodationsinnervation hervorrufen, wird auch eine Störung des Muskelgleichgewichtes die Folge sein.

Ersetzt man durch Convexgläser die Accommodation, so muss

diese, damit deutlich gesehen werde, ebenso stark entspannt werden, als es dem Brechwerthe des Glases entspricht. Eine Verringerung der Accommodationsinnervation ist aber mit einer Entspannung der Interni verbunden. Bestand nun vor Benützung des Glases Gleichgewicht der seitlichen Augenmuskeln, so wird beim Tragen der Brille eine Gleichgewichtsstörung zu Ungunsten der Interni entstehen, welche nur durch den Zwang des binoculären Sehactes unter erneuerter Innervation der Interni ausgeglichen werden kann, bei Unterbrechung des binoculären Sehactes jedoch durch latentes Auswärtsschielen sich sogleich kundgibt.

Bedienen sich Myope innerhalb ihres Fernpunktes oder andere Personen auch beim Blick in die Ferne concaver Gläser, so wird durch diese eine Anspannung der Accommodation notwendig. Diese letztere ist aber mit einer Innervation der Interni in engster Verbindung und es resultirt desshalb eine Störung des Muskelgleichgewichtes zu Ungunsten der Mm. recti externi.

Diese Störung muss nun ebenfalls durch eine erneuerte specielle Innervation der Externi ausgeglichen werden, wenn der binoculäre Sehact fortbestehen soll.

Die Gleichgewichtsstörung tritt aber sogleich als latentes Einwärtsschielen auf, sobald der binoculäre Sehact auf irgend eine Weise unterbrochen wird.

Wie wir sehen, sind dies ganz dieselben Verhältnisse, wie sie sich bei der Betrachtung des Zusammenhanges zwischen Accommodation und Convergenz und ihrer Störung (relative Accommodationsbreite) ergeben haben.

Durch Brillen wird sowohl der ganze Accommodationsbereich und selbstverständlich auch die relative Accommodation und Convergenz vollständig verschoben werden. Handelt es sich um Convexgläser, so müssen noch verschiedene andere Verhältnisse berücksichtigt werden, damit man über die Lage des Accommodationsbereiches ins Klare kommen kann.

Besteht manifeste und facultative Hypermetropie, dann wird durch das Tragen der Brille der ganze Accommodationsbereich herein-, näher an das Auge gerückt, indem ein Theil der Accommodation durch das Glas ersetzt wird, wodurch die Accommodationsbreite sich gegen ihr Nahepunktsende verschiebt.

Auch die relativen Accommodationsbreiten verändern sich hiebei derart, dass der positive Theil sich wesentlich vergrössert, der negative bedeutend abnimmt; im Ganzen genommen verringern sich die Grössen der Accommodationsbreite nicht. Nur in der Nähe des binoculären Nahepunktes sinkt ihre Grösse etwas unter die Norm.

Die relative Convergenzbreite verändert sich so, dass der positive Theil sich verkleinert, der negative sich vergrössert.

Bei der relativen Hypermetropie, bei welcher die Accommodation für den Convergenzpunkt nicht aufgebracht werden kann, ist die Accommodationsbreite gewöhnlich verringert und die relativen Accommodationsbreiten liegen ganz im negativen Theil und können erst nach Correction der Hypermetropie für die Ferne eruirt werden. Solche Augen erlangen demnach erst durch das Vorsetzen von corrigirenden Brillen einen negativen Theil der relativen Accommodationsbreite. Einen positiven können sie auch durch das Tragen der Brillen nicht erlangen. Die Convergenz-

breite, welche bei solchen Hypermetropen nur einen positiven Theil zeigt, zeigt sich in diesem Theile beim Tragen der Brille vergrössert, ohne dass ein negativer Theil hinzukommt.

Bei absoluter Hypermetropie, bei welcher die totale Hypermetropie durch Gläser ersetzt werden muss, um deutlich in die Ferne und Nähe sehen zu können, gibt es weder eine absolute noch eine relative Accommodationsbreite und tritt eine solche auch nach Correction der Hypermetropie nicht auf.

Trägt ein Emmetrope Convexgläser für die Nähe, weil seine Nahepunktsdistanz zu weit hinausgerückt ist, dann verändert sich durch die Brille zwar nicht die absolute, wohl aber die relative Accommodationsbreite. Während ohne Gläser für die Arbeitsentfernung der negative Theil der relativen Accommodationsbreite sehr beträchtlich ist und ein positiver Theil fehlt, verringert sich ersterer nach Correction der Presbyopie sehr beträchtlich und es kommt auch ein kleiner positiver Theil hinzu, wenn dafür gesorgt ist, dass der durch die Brille corrigirte Nahepunkt näher als die Arbeitsentfernung liegt.

Wird ein Myope durch ein concaves Glas für die Ferne corrigirt, so wird seine Accommodationsbreite, welche vor der Correction zwischen seinem Fernpunkte und seinem Nahepunkte lag, derart hinausgeschoben, dass der Fernpunkt in unendlicher Entfernung liegt, und der Nahepunkt ebenfalls entsprechend hinausrückt.

Auch die relativen Accommodationsbreiten verändern mit der absoluten ihre Lage und wird ausserhalb des Fernpunktes ein positiver Theil entstehen, ohne dass ein negativer vorhanden ist, innerhalb des Fernpunktsabstandes wird der positive Theil nur sehr klein sein, der negative aber stetig wachsen, je näher das Object an den Nahepunkt heranrückt.

Die relativen Convergenzbreiten haben einen geringen positiven Theil, solange der Blickpunkt ausserhalb des Fernpunktes liegt, während ein negativer nicht vorhanden ist. Innerhalb der Fernpunktsentfernung wird der positive Theil bis in die Nähe des Nahepunktes immer grösser, der negative Theil aber immer kleiner.

§ 58. Es erscheint nothwendig, die Methoden anzugeben, nach welchen man die Abweichungen in der Stellung eines Auges und die Behinderungen in der Beweglichkeit desselben untersuchen kann. Eine der wichtigsten dieser Methoden ist die Untersuchung von Doppelbildern.

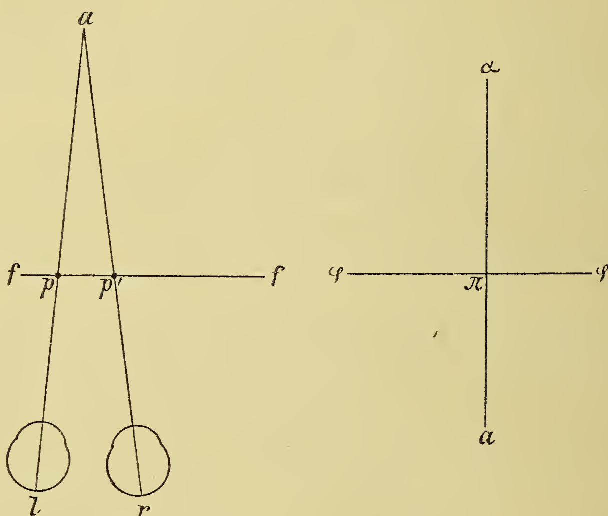
Einfaches kann doppelt gesehen werden aus Gründen der physiologischen Stellung und Beweglichkeit des Auges (physiologische Doppelbilder), oder das Doppeltsehen ist Folge einer pathologischen Stellung oder Störung der Beweglichkeit des Augapfels (pathologische Doppelbilder).

Alle Punkte des Aussenraumes, welche nicht in identischen Sehrichtungen (Hering) beider Augen liegen, werden in physiologischer Weise doppelt gesehen. Unter identischer Sehrichtung versteht Hering diejenige Richtung, in welcher die Aussendinge beiden Augen gemeinschaftlich erscheinen. Betrachtet das linke Auge, während das rechte verdeckt wird, einen etwas nach rechts gelegenen, sehr fernen Gegenstand, z. B. einen Baum, und bringt man an der Fensterscheibe, durch welche man hindurchsieht, eine Oblate derart an, dass sie dem linken Auge den Baum verdeckt, schliesst man dann das linke Auge

und betrachtet die Oblate mit dem rechten, und beobachtet man, welchen fernen Gegenstand die Oblate dem rechten Auge verdeckt (es sei dies eine ferne Esse), so wird bei binoculärer Fixirung der Oblate bald der ferne Baum, bald die Esse in derselben Richtung als die Oblate und zwar in der Medianebene zu liegen scheinen, indem die beiden Empfindungen mit einander in Wettstreit gerathen.

Stellt man den Versuch aber in der Weise an, dass man einen bestimmten fernen Gegenstand a (Fig. 51) dem linken Auge durch eine blaue Oblate p verdeckt, und denselben Gegenstand durch das rechte Auge allein betrachtet, diesen durch eine rothe Oblate p, verdeckt, dann wird bei binoculärer Fixirung von a nur eine Oblate und zwar entweder die blaue Oblate oder die rothe im Wettstreite (in derselben Richtung gelegen) erscheinen. Im ersten Falle liegen der ferne Baum, die ferne Esse und die schwarze Oblate in derselben Sehrichtung, im zweiten Falle das Object a sowie die beiden farbigen Oblaten, wie-

Fig. 51.



wohl der Baum und die Esse einerseits, sowie die beiden Oblaten andererseits an verschiedenen Orten liegen. Aber auch seitlich gelegene Objecte, deren Netzhautbilder sehr nahe an die Netzhautgrube fallen, werden in identischen Sehrichtungen wahrgenommen. Alle anderen Punkte des Aussenraumes werden als doppelt empfunden, es entziehen sich jedoch diese Doppelbilder in der Regel der Auffassung, besonders dem Laien, der von ihnen keine Kenntniss hat, so dass, wenn nicht auf sie eigens geachtet, oder das Auffassen derselben nicht eigens geübt wird, diese Doppelbilder bei gewöhnlichem Sehen nicht zum Bewusstsein kommen. Die Gründe, warum diese Doppelbilder das Sehen nicht stören, liegen theils darin, dass die Objecte, die in Doppelbildern erscheinen sollen, auf peripheren Netzhautstellen, deren Empfindlichkeit gegenüber dem Netzhautcentrum eine sehr verringerte ist, abgebildet werden, theils in der ungetheilten Aufmerksamkeit, die den central abgebildeten Objecten zugewendet wird.

Hering theilt diese Doppelbilder nicht nur, wie dies bis auf ihn geschehen, in *gleichnamige* und *gekreuzte*, sondern auch in *einseitige* und *doppelseitige* ein.

Gleichnamige Doppelbilder sind solche, bei welchen das rechts empfundene Bild dem rechten, das links empfundene dem linken Auge angehört.

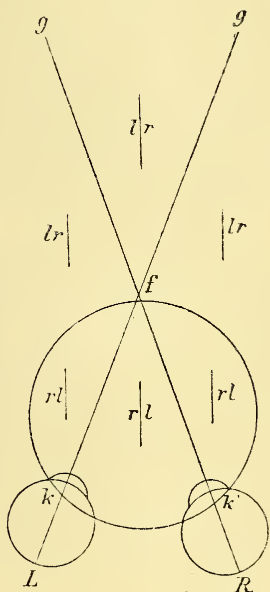
Gekreuzte Doppelbilder werden jene genannt, von welchen das rechte dem linken Auge und das links gelegene dem rechten angehört.

Einseitige Doppelbilder sind jene, welche auf einer Seite der Medianebene liegen und

doppelseitige solche, die zu beiden Seiten der Medianebene verlegt werden.

In Fig. 52 sind L und R das linke und rechte Auge, k und k, die Knotenpunkte, f der fixirte Punkt und f k k, der Horopterkreis, k g und k, g, die sich in f kreuzenden Gesichtslinien. Die zwischen diesen Gesichtslinien liegenden Punkte erscheinen in doppelseitigen, alle anderen ausserhalb liegenden Punkte in einseitigen Doppelbildern. Gleichzeitig sind die zwischen den Schenkeln des Winkels k f k, liegenden gekreuzte, die zwischen den Schenkeln des Winkels g f g, gelegenen gleichnamige Doppelbilder. Die ausserhalb des Horopterkreises rechtsseitig gelegenen Punkte erscheinen in rechtsseitigen und gleichnamigen Doppelbildern. Die im Horopterkreise seitlich gelegenen Punkte liefern ebenfalls einseitige, aber gleichzeitig gekreuzte Doppelbilder.

Fig. 52.



§ 59. Ehe wir in die Lehre von den pathologischen Doppelbildern eingehen, müssen wir, wenn auch nicht ausführlich, der Theorien Erwähnung thun, welche den Modus der Localisation unserer Gesichtsempfindungen erklären wollen.

Diese Theorien unterscheiden sich vor Allem dadurch, dass die einen die Localisation der Gesichtsempfindungen als das Resultat der Erfahrung und Uebung hinstellen (*empiristische Theorien*), während die anderen dieses Nachaussenversetzen unserer Empfindungen als eine angeborene immanente Eigenschaft des Sehorganes auffassen und nur zugeben, dass Uebung und Erfahrung diese angeborenen Qualitäten individuell verbessern und bestärken können (*nativistische Theorien*).

Die empiristische Theorie hatte ihren ersten Vertreter in *Porterfield*, welcher den Satz aufstellte: „Wir sehen die Dinge dort, wo sie wirklich sind.“ Dies setzt nun die Erfahrung voraus, wo sich die Dinge befinden. Abgesehen davon, dass wir zuweilen gar nicht in der Lage sind diese Erfahrung zu machen, kann auch leicht gezeigt werden, dass der *Porterfield*'sche Satz unrichtig ist. So sehen wir den Mond nicht dort, wo er wirklich ist, sondern viel näher, und nach der soeben entwickelten Lehre von den identischen Sehrichtungen erfahren

wir, dass wir die Dinge auch in anderer Richtung sehen können, als sie zu unserem Körper wirklich liegen. Das Sehding (Hering) und sein Object liegen weder immer an demselben Orte noch in derselben Richtung.

Die gangbarste, von Helmholtz herrührende empiristische Theorie lehrt, dass wir die Bilder der Aussendinge nach den Empfindungen, welche wir von der Innervation der das Auge bewegenden Muskeln besitzen, localisiren (Projectionstheorie).

Die wichtigste der nativistischen Theorien rührt von Joh. Müller her, welcher lehrte, dass correspondirende Theile beider Netzhäute identische Empfindungen vermitteln, die an einen und denselben Ort localisirt werden (Identitätstheorie).

Diese Theorie verbesserte und erweiterte Hering nach zwei Richtungen hin, einerseits, indem er nachwies, dass die identischen Netzhautstellen, nicht vollkommen mit einander correspondiren und an die Stelle der Identität der Netzhaut die identischen Sehrichtungen setzte, andererseits, indem er auf die Uebereinstimmung der gleichnamigen Muskelinnervation beider Augen mit den Bedürfnissen der identischen Sehrichtungen aufmerksam machte und diese Uebereinstimmung als eine angeborene, von zwei Seiten gegen dasselbe Ziel gerichtete Einrichtung des Sehorganes darstellte.

Fragen wir nun, durch welche dieser Theorien sich alle Erscheinungen der Localisation in physiologischer und pathologischer Hinsicht vollkommen und allseitig erklären lassen, so muss darauf geantwortet werden, dass keine der beiden Theorien, für sich allein, alle einschlägigen Fragen beantworten kann, dass aber beide zusammen genommen die Localisationsfrage sowohl bei normalem binoculärem Sehacte als auch die pathologisch entstehenden Formen desselben zu lösen vermögen. Es gibt Erscheinungen, welche sich nur durch das Gesetz der identischen Sehrichtungen, andere wieder, welche sich nur durch das Innervationsgefühl, und endlich solche, welche sich auf beiden Wegen erklären lassen. So kann man die Versuche, die wir S. 200 angeführt haben, nur durch die Annahme von identischen Sehrichtungen erklären.

Den folgenden Versuch jedoch können wir nur auf Grundlage der Empfindung unserer Innervation uns deutlich machen.

Schliesst man ein Auge, z. B. das linke, und drückt das rechte Auge in der Gegend der temporalen Commissur nasenwärts, so machen alle Objecte eine scheinbare Bewegung in umgekehrter Richtung, also temporalwärts. Lässt man mit dem Drucke nach, so kehren die Objecte in ihre alte Stellung zurück, indem sie sich nasenwärts zu bewegen scheinen. Dies lässt sich folgendermassen erklären:

Bewegen wir bei geschlossenem linken Auge das rechte Auge nach links, so scheinen uns die Objecte in ihrer Ruhelage zu beharren, während ihre Bilder auf der Netzhaut in derselben Richtung, wie das Auge, also von rechts nach links wandern. Lassen wir aber dieses Auge ruhen und bewegen sich die Objecte so, dass der Weg ihrer Bilder auf der Netzhaut derselbe ist, wie bei dem nach links bewegten Auge, dann scheinen sich die Objecte in entgegengesetzter Richtung, nach rechts, wie sie es wirklich thun, zu bewegen. Im ersten Falle erscheinen die Objecte der wandelnden Bilder ruhig, weil die zur

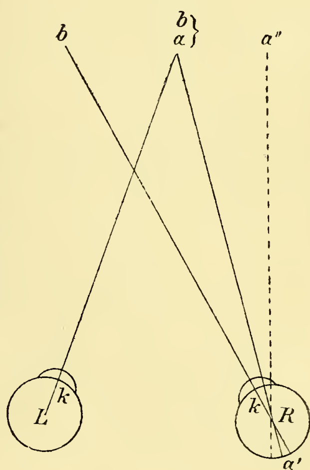
Seitenwendung nach links nothwendige Innervation und in Folge dessen die veränderte Stellung des Auges uns zum Bewusstsein kommt.

Im anderen Falle beziehen wir die Bewegung der Bilder auf der Netzhaut auf eine Bewegung der Objecte im umgekehrtem Sinne, weil die Innervation unseres rechten Auges ruht, die geradeaus nach vorne gerichtete Stellung desselben uns vollkommen bewusst ist, wesshalb eine Veränderung der Lage der hinzugehörigen Objecte bewirkt werden kann. Wird nun bei ruhendem und gerade nach vorne gerichtetem Auge ein Druck auf dasselbe derart ausgeführt, dass dessen Gesichtslinie nach links hin gewendet wird, so kommt diese veränderte Stellung des Auges nicht zu unserem Bewusstsein, weil wir vermöge der ruhenden Innervation der seitlichen Augenmuskeln das Auge für ruhend halten müssen und wohl den Druck und die Zerrung der Gewebe empfinden, aber von der veränderten Stellung des Auges kein Bewusstsein haben.

Da nun aber die Netzhautbilder der Objecte in derselben Weise nach links wandern, wie bei sich nach rechts bewegenden Objecten, so müssen wir die Empfindung haben, als bliebe das Auge ruhig stehen und bewegten sich die Objecte nach rechts. Lässt der Druck auf das Auge nach, so bewegen sich die Objecte, sowie das Auge in seine alte Stellung nach rechts zurückkehrt, selbstverständlich nach links.

Die pathologisch entstehenden Doppelbilder lassen sich sowohl durch die Theorie der identischen Sehrichtungen als auch durch die Projectionstheorie erklären.

Fig. 53.



Versuchen wir es, die bei Lähmung des M. rectus exter. des rechten Auges auftretenden Doppelbilder aus den identischen Sehrichtungen zu erläutern, so gelingt dies mit Hilfe der Fig. 53 sehr leicht.

Die Gesichtslinie g des gelähmten rechten Auges R ist bei geradeaus nach vorne gerichtetem, das Object a fixirendem linken Auge L etwas nach links gerichtet, indem der Antagonist des M. rect. externus, der M. rect. internus, das Uebergewicht erhält und das Auge etwas nach links dreht. Die Gesichtslinie ist dabei auf das Object b gerichtet und nach dem Gesetze der identischen Sehrichtungen vereinigt sich b mit a an dem Orte des letzteren. Das Bild des Objectes b wird desshalb in a gesehen, beschreibt also den Winkel b k, a nach rechts. Das Bild von a, welches in a, die Netzhaut des rechten Auges trifft, wird desshalb um einen gleichen Winkel a a, a,, nach rechts verlegt werden.

Haben wir die Aufgabe, das Doppeltsehen bei demselben Lähmungsfalle aus der Innervationstheorie zu erklären, so wird uns dies ebenso leicht fallen.

Das gelähmte Auge, dessen Innervation bei geradeaus gerichtetem Blicke ebenso wie die des linken ruht, hat seine Stellung geändert, und zwar nach links, ohne dass uns diese Veränderung zum Bewusstsein gekommen ist. Die Bilder der Objecte sind dabei nasenwärts gewandert,

die Objecte selbst müssen desshalb um den Winkel a a, a,, = b k, a nach rechts von a verschoben erscheinen, und da wir gleichzeitig a und a,, wahrnehmen, so sehen wir das Object doppelt.

Wir haben schon früher erwähnt, dass bei Verschluss eines Auges und bei passiver, nicht zum Bewusstsein kommender Bewegung des anderen die Objecte in der der Bewegung entgegengesetzten Richtung verschoben erscheinen. Dasselbe ist der Fall, wenn ein frisch gelähmtes Auge allein zum Sehen benützt wird, und wird die falsche Beurtheilung der Richtung, in welcher die Objecte liegen, als Disorientirung der Netzhaut oder als Projectionsanomalie bezeichnet.

Auch diese Art der Localisirung der Gesichtsobjecte kann in genügender Weise durch jede der beiden Theorien erklärt werden.

Wird nämlich das gelähmte Auge geradeaus auf ein Object gerichtet, so kann dies nur unter erhöhter Innervation des gelähmten Muskels geschehen. Nach dem Gesetze der gleichen Innervation beider Augen überträgt sich aber diese erhöhte Innervation auf den dem gelähmten associirten Muskel des geschlossenen Auges. Letzteres wird desshalb in einer der erhöhten Innervation entsprechenden Weise in die Richtung des gelähmten Muskels gedreht, so dass die Gesichtslinie des gedeckten Auges nach dieser Gegend gerichtet ist. In dieselbe Richtung, also in die Bahn des gelähmten Muskels, wird demnach nach dem Gesetze der identischen Sehrichtungen das von dem gelähmten Auge central fixirte Object verlegt werden.

Auch nach der Innervationstheorie erklärt sich die falsche Projection des gelähmten Auges sehr einfach. Da wir gewohnt sind, mit einer bestimmten Innervation auch eine bestimmte Stellung des Auges zu verbinden, da uns ferner erstere zum Bewusstsein kommt, letztere nicht, so ist es klar, dass wir bei erhöhtem Grade von Innervation auch eine entsprechend veränderte Stellung des Auges voraussetzen, und dass wir demnach das central fixirte Object und mit ihm das gesammte Gesichtsfeld in der Richtung des gelähmten und desshalb stärker innervirten Muskels verlegen.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass das Doppeltsehen bei frischen Lähmungen nichts anderes ist als die Combination der normalen Projection des nicht gelähmten und der falschen des gelähmten Auges.

Die falschen Projectionen bei alleinigem Gebrauche des gelähmten Auges verschwinden allmälig mit der Zeit, so dass bei alten Lähmungen diese Anomalie nicht mehr vorzufinden ist. Den Grund des Verschwindens der Projectionsanomalie wollen wir weiter unten erörtern und hier nur erwähnen, dass dieses Verschwinden den wichtigsten Einwand gegen die Projectionstheorie und gegen die für das Doppeltsehen aus derselben sich ergebenden Schlussfolgerungen dargeboten hat.

Auf diesem Verschwinden der Projectionsanomalie beruht ein Versuch, der ein merkwürdiges, fast paradoxes Ergebniss darbietet.

Haben wir z. B. eine veraltete Lähmung des M. rect. externus vor uns und lassen wir das gelähmte rechte Auge eine geradeaus nach vorne angebrachte Lichtflamme fixiren, so ergeben sich die folgenden, durch Fig. 54 erläuterten Projectionen.

Das rechte Auge R, mit einem rothen Glase g g bewaffnet, ist auf das geradeaus nach vorne gelegene Object a gerichtet, in Folge dessen wird das linke Auge L wegen Vermehrung der Innervation

seines Internus nach a, gerichtet sein, gleichzeitig wird a in α die Netzhaut des linken Auges treffen.

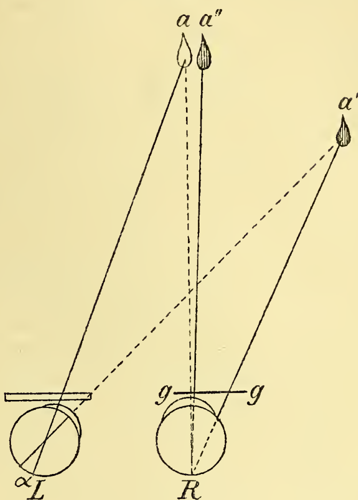


Fig. 54.

Der Kranke sieht die central fixirte Flamme in a,, das excentrische Bild α verlegt er nach a. Dies Alles ergibt sich aus beiden Theorien wie von selbst.

Lassen wir aber nun das linke Auge verdecken, so verändert die Lichtflamme sprungweise ihre Stellung, indem sie statt in a, plötzlich in a,, erscheint.

Die Erklärung dieses paradoxen Verhaltens ist dieselbe, welche für das Verschwinden der Projectionsanomalie gilt.

Es lernt nämlich das Bewusstsein allmälig mit einer erhöhten Innervation eine geringere Bewegung des Auges vereinen, resp. die erhöhte Innervation des gelähmten Muskels, die nothwendig ist, um die Gesichtslinie gerade nach vorne gerichtet zu erhalten, mit der Vorstellung des in der Primärlage ruhenden Auges annähernd zu verbinden.

Ist in dem angegebenen Beispiele das linke Auge geöffnet, so richtet sich die Projection nach der Innervation und der ihr entsprechenden Stellung des gesunden Auges, und jene neu erworbene Beziehung zwischen Innervation und Stellung des kranken Auges kommt nicht zur Geltung.

In ähnlicher Weise lässt sich der von v. Graefe gegen die Projectionstheorie erhobene Einwand entkräften, dass die Projectionsanomalie verschwinden könne, ohne dass die Diplopie auch nur im Geringsten hievon berührt werde.

Es kommt eben beim binoculären Gebrauche der Augen immer nur der Innervationszustand des gesunden Auges zur Geltung und mit diesem ist immer eine Ablenkung des kranken Auges in der dem kranken Muskel entgegengesetzten Richtung in Verbindung, woraus eben die Diplopie resultirt. Beim monoculären Gebrauche des gelähmten Auges jedoch ist Gelegenheit gegeben, die falsche Projection mit der wirklichen Lage der Dinge zu vergleichen, die falschen Vorstellungen zu corrigiren, indem jener neue Vertrag zwischen Innervation und Stellung des Auges sich täglich mehr befestigt.

Am schwierigsten und dem Verständniss fast unzugänglich gestaltet sich der binoculäre Sehact bei den eingelebten Formen des Strabismus und gelingt es weder der Theorie von den identischen Sehrichtungen noch der Projectionstheorie, Klarheit in diese vielfachen Gestaltungen zu bringen.

Am bequemsten ist es allerdings, das Bestehen der Diplopie, wenigstens beim Strabismus convergens, gänzlich zu leugnen, zu be-

haupten, dass das Schielauge richtig orientirt sei, und dass das auf künstlichem Wege erzwungene Doppeltsehen bei operirten oder nicht operirten Strabismen auf „falschen Projectionen“ beruhe und sich mit diesem Ausdrucke das unerklärliche Doppeltsehen vom Halse zu schaffen.

Als v. Graefe im Beginne seiner Praxis veraltete Fälle von Einwärtsschielen operirte und bald darauf die Verhältnisse des binoculären Sehactes prüfte, stiess er auf das Paradoxon, dass bei noch bestehender, ziemlich ausgiebiger convergenter Stellung der Gesichtslinien gekreuzte Doppelbilder von dem Kranken wahrgenommen wurden. Er stand nicht an, eine sogenannte „Incongruenz der Netzhäute“ zu präsumiren und anzunehmen, dass in diesem Falle das Centrum der Netzhaut nicht an der gewöhnlichen Stelle temporalwärts vom Sehnerven, sondern nasalwärts seinen Ort habe.

Als sich jedoch die Fälle von Incongruenz an operirten Strabismen immer mehr häuften und endlich fast die Regel bildeten, lenkte v. Graefe ein und machte das Zugeständniss, dass in vielen Fällen von Strabismus convergens eine dem Schielgrade entsprechende, mehr oder weniger weit nasalwärts vom Sehnerven liegende Netzhautstelle die Dignität eines Netzhautcentrums erwerbe und desshalb nach der Schieloperation die Bilder der von dem anderen Auge fixirten Objecte temporalwärts von diesem neu erworbenen Centrum zu liegen kommen, woraus die gekreuzte Diplopie resultire.

Es ist hier nicht der Ort, die verschiedenen Modalitäten des binoculären Sehactes bei operirtem oder nicht operirtem Schielen aus einander zu setzen, es sollte nur darauf hingewiesen werden, dass die bestehenden Theorien nicht hinreichen, diese Veränderungen zu erklären.

§ 60. Um Doppelbilder genauer zu untersuchen und aus der Art und Weise derselben auf das Wesen und den Grad einer Muskelanomalie einen Schluss ziehen zu können, bedienen wir uns der Färbung eines der beiden Bilder durch ein rothes oder violettes Glas. Diese Methode bietet einen doppelten Vortheil. Wird nämlich eines der beiden Augen mit einem solchen Glase bewaffnet, so treten, selbst wenn ohne dasselbe binoculäres Sehen stattgefunden hatte, mit demselben zuweilen Doppelbilder auf, indem die Färbung eines der beiden central entworfenen Bilder den binoculären Sehact derartig stört, dass latente Ablenkungen unter dem gefärbten Glase hervortreten. Bestehen Doppelbilder, so vergrössert sich deren Distanz gewöhnlich beim Vorlegen eines solchen Glases, weil, besonders gegen die Grenze des Einfachsehens hin, Fusionsanstrengungen des dem gelähmten antagonistischen Muskels stattfinden, welche bei Differenzen in der Färbung der Bilder vollständig ruhen. In zweiter Beziehung ist diese Färbung von grossem Vortheile, weil sie ein einfaches Mittel darbietet, uns mit dem Kranken über die Lage und die wechselseitigen Beziehungen der beiden Bilder rasch zu verständigen. Zuweilen muss man mit der Anwendung der gefärbten Gläser auch die von Höhenprismen verbinden. Solcher vertical brechender Prismen bedienen wir uns bei der Untersuchung der Diplopie bei den verschiedenen Strabismusformen, weil meistens sogenannte regionäre Exclusion des Schielauges besteht, d. h. weil in einer bestimmten horizontalen Strecke die Netzhautbilder des Schielauges nicht zum Bewusstsein kommen und wir desshalb gezwungen sind,

durch die vertical brechenden Prismen dieselben etwas höher oder tiefer zu entwerfen.

Gewöhnlich bedient man sich als Prüfungsobject einer Kerzenflamme, welche je nach dem jeweiligen Bedürfnisse in einer grösseren Entfernung, z. B. von 3—6 m, oder in einer geringeren, etwa in 1 m, aus der Mitte des Gesichtsfeldes nach verschiedenen Richtungen gegen die Grenzen desselben geführt wird.

Wird die Kerzenflamme aus dem Gebiete des Einfachsehens in das Gebiet der Doppelbilder gebracht und dann wieder in umgekehrter Richtung zurückgeführt, dann ragt im ersten Falle das Gebiet des Einfachsehens beträchtlich weiter gegen die Region der Doppelbilder hinein, als dies im letzteren Falle geschieht.

Selbstverständlich werden dann Doppelbilder entstehen, wenn bei einer bestimmten Bewegung der erkrankte Muskel zu erhöhter Thätigkeit aufgerufen wird. Es wird desshalb die Richtung, in welcher die grössten Distanzen der Doppelbilder zu verzeichnen sind, die Richtung des Wirkungsgebietes des erkrankten Muskels sein. Es ist ferner von selbst klar, dass wenn in dieser Richtung fortgeschritten wird, die gegenseitige Distanz der Doppelbilder immer wachsen müsse, und dass dieser Umstand einen mächtigen Behelf für die Diagnose abgebe.

Hier, wo wir in die Details der Muskelanomalien nicht eingehen können, sondern nur die Untersuchungsmethoden kennen lernen wollen, sei nur im Allgemeinen erwähnt, dass bei Lähmungen und Paresen der Seitenwender Doppelbilder in der Horizontalebene auftreten werden, deren Lateraldistanz in der Richtung des gelähmten Muskels sich vergrössert, dass ferner bei Lähmungszuständen der Heber oder Senker Höhendistanzen der Doppelbilder eintreten müssen, welche sich verschieden verhalten werden, wenn ein gerader oder ein schiefer Augenmuskel, oder endlich, wenn beide von der Lähmung ergriffen sind.

Wir brauchen uns nur dessen zu erinnern, was wir früher über die Einzelwirkung der Heber oder Senker bei Abduction und Adduction gelehrt haben, um daraus den Schluss ziehen zu können, dass bei Lähmung der Recti die grösste Höhendeviation in der Abduction und bei Lähmung der Obliqui in der Adduction stattfinden werde.

Ein wichtiges Moment wird bei solchen Einzellähmungen auch der Ausfall des Einflusses, den der gelähmte Muskel auf die Rollung des Auges ausübt, abgeben. Hiebei dürfen wir nicht vergessen, dass die schiefen Augenmuskeln in der Abduction, die geraden in der Adduction des Auges den grössten Einfluss auf die Raddrehung haben, und es würden sich die schiefen Projectionen der Doppelbilder schon theoretisch construiren lassen. Hievon nur zwei Beispiele:

1. Handelt es sich um eine Lähmung des M. rect. super. des rechten Auges, und zwar um eine frische Lähmung, dann werden wir unterhalb der Horizontalebene Einfachsehen constatiren können. Sowie wir aber mit der Kerzenflamme über die Horizontalebene hinaufgehen, so wird Doppeltsehen eintreten und das Bild des rechten Auges höher stehen als das des linken. Halten wir uns dabei in der Medianebene, so werden wir gleichzeitig nur ein leichtes Gekreuztsein der Doppelbilder wahrnehmen können. Je höher wir in dieser Ebene mit der Kerze gehen, desto mehr nimmt die Höhendistanz zu. Bewegen wir, oben angelangt, die Kerzenflamme nach rechts, so wird sich diese

Höhendistanz noch weiter steigern. Gleichzeitig wird sich das dem kranken Auge zugehörige Bild ein klein wenig mit dem oberen Ende temporalwärts drehen, weil die nasalwärts drehende Componente des Rect. super. ausgefallen ist. Bewegen wir die Kerze nach links hinüber, so wird die Höhendistanz immer geringer, die Schiefheit aber in demselben Sinne wie temporalwärts in starkem Grade erscheinen, weil in der Adductionsstellung der Rect. super. den grössten Einfluss auf die Stellung des verticalen Meridianes ausübt.

2. Ist eine Lähmung des Obliquus superior des rechten Auges zugegen, so wird oberhalb der Horizontalebene in der Medianlinie Einfachsehen bestehen und unterhalb derselben werden über einander stehende Doppelbilder erscheinen, deren tieferstehendes dem kranken Auge angehört. Die Höhendistanzen werden bei Senkung der Kerzenflamme steigen, besonders aber dann, wenn dieselbe gleichzeitig nach links hinüber geführt wird. Das Trugbild wird nur sehr wenig nach rechts gedreht erscheinen, diese Drehung aber nach rechts hin sehr bedeutend zunehmen, während die Höhendistanz abnimmt, weil die nasalwärts drehende Wirkung des Obliqu. super. auf den verticalen Meridian ausgefallen ist. Die Bilder werden eine schwach gleichnamige Stellung behaupten, weil die abducirende Wirkung des Trochlearis ausfällt.

Eine zweite Methode, Doppelbilder zu untersuchen und aus ihnen auf den erkrankten Muskel den Schluss zu ziehen, besteht in der Anwendung von Prismen. Ist Doppeltsehen vorhanden, so legen wir ein Prisma von mässigem Winkelgrade (6—8^0) vor ein Auge und drehen dasselbe langsam derartig herum, dass die brechende Kante nach und nach alle möglichen Stellungen im Kreise einnimmt. Bei einer dieser Stellungen wird die Distanz der Doppelbilder sich verringern, resp. das Doppeltsehen vollständig verschwunden sein. Haben sich die Doppelbilder nur genähert, so legt man in derselben Richtung immer stärkere Prismen vor, bis das Doppeltsehen verschwindet. Es ist klar, dass die Richtung, in welcher der gelähmte Muskel wirkt, senkrecht stehen werde auf der brechenden Kante des Prismas, und ebenso, dass dieser Muskel selbst an der Basis des Prismas liegen werde.

Diese Methode hat noch den practischen Werth, dass sie unmittelbar eine therapeutische Massregel in sich schliesst, indem sie den Grad des Prismas angibt, mittelst welchem Einfachsehen hervorgerufen werden kann, wodurch bei schwachen Lähmungsgraden, oder wenn solche nach stärkeren zurückgeblieben sind, ein unersetzbares Heilmittel geschaffen wird.

---

7. Capitel.

Die Untersuchung der Farbenempfindung.

§ 61. Wenn wir die Aussendinge betrachten, so überträgt sich in unsere Empfindung nicht nur die Form und die Entfernung der Objecte, sondern auch die Intensität des Lichtes, welches sie aussenden oder reflectiren, und endlich die Wellenlänge oder die Schwingungszahl des Lichtes, welches von ihnen ausgeht.

Licht von einer bestimmten Wellenlänge macht auf unsere Netzhaut auch den Eindruck einer bestimmten Farbe und jede farbige Empfindung entspricht einem Lichte von bestimmter Wellenlänge, oder einem Gemische solchen Lichtes. Licht, welches einer solchen einzelnen, einfachen farbigen Empfindung entspricht, nennt man homogenes zum Unterschiede von gemischtem Lichte, welches aus zwei oder mehreren qualitativ verschiedenen Lichtarten gemischt ist. Die Physiker nennen homogenes Licht solches, das durch Pendelschwingungen der Aethermoleküle entsteht, während das gemischte Licht durch Schwingungen zustande kommt, welche in verschiedenen Richtungen stattfinden.

Farbiges Licht, welches keine Beimengungen anderen Lichtes, also auch nicht des weissen oder schwarzen darbietet, heisst gesättigt, während solches Licht, dem Weiss oder Schwarz beigemischt ist, als Nuance bezeichnet wird.

Wir unterscheiden helle und dunkle Nuancen, je nachdem Weiss oder Schwarz der betreffenden Farbe beigemischt wurde, und lichtstarke und lichtschwache, insoferne als Weiss die grösste Helligkeit, Schwarz aber den Mangel an Helligkeit darstellt. Unter Farbenton endlich versteht man qualitativ von einander verschiedene Farben und deren Mischungen.

Am reinsten lassen sich die Farben im Sonnenspectrum herstellen; dasselbe stellt eine continuirliche Reihe von Farbentönen dar, unter welchen wir die Hauptfarben: Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau und Violett unterscheiden.

Unter diesen Spectralfarben sind jedoch nur Roth, Gelb, Grün, Blau solche Farben, welche einer einfachen Empfindung entsprechen, während Orange und Violett, ersteres aus Roth und Gelb, letzteres aus Blau und Roth zusammengesetzt scheinen. Ausser den Farben des Spectrums müssen wir noch einer Mischfarbe erwähnen, welche im Spectrum nicht vorkommt und gleichsam die Verbindung seiner beiden Endpunkte darstellt — Purpur nämlich, welches aus Violett und Roth gemischt ist. Rechnen wir noch Weiss, Schwarz und das zwischen beiden liegende Grau hinzu, sowie alle Nuancen der genannten Farben, welche durch Zusammensetzung derselben mit den letztgenannten entstehen, so kann sich der Leser ungefähr eine Vorstellung von dem Reichthum an Farben machen.

Ein Sonnenspectrum oder ein solches von hellem, diffusem Tageslicht verschafft man sich, indem man in einem verfinsterten Zimmer das Licht durch einen engen Spalt in einem gut schliessenden Fensterladen einlässt, auf welchen das durch einen Heliostaten reflectirte Sonnenlicht oder nur diffuses Tageslicht auffällt. Der Spalt muss sehr schmal sein, weil bei nur etwas erheblicher Breite von jeder Stelle desselben eine Reihe von Spectren erzeugt werden, welche sich theilweise decken, wodurch ein Gemische von Farben entsteht, welches mit dem Ausdrucke „unreines Spectrum“ belegt wird. Das Sonnenspectrum zeigt eine Reihe von dunklen Linien, welche den Namen der Frauenhofer'schen Linien führen, und welche keine andere Bedeutung haben, als dass Strahlen von gewisser Brechbarkeit im Sonnenlichte nicht enthalten sind. Solcher Linien gibt es sieben, welche mit den Buchstaben B bis H bezeichnet werden. Diesseits von B, zwischen A und B, und jenseits von H, zwischen H und R, enthält das Spectrum Strahlungen, welche

nur unter bestimmten Voraussetzungen sichtbar sind. Man nennt diese Strahlungen ultrarothe und ultraviolette oder unsichtbare Strahlen.

Die ultravioletten Strahlen bringt man zur Ansicht, indem man alle anderen Strahlen abblendet, oder indem man dieselben durch ein zweites Glasprisma gehen lässt und sie auf einem Schirme auffängt, oder wenn man diesen Theil des Prismas auf einer fluorescirenden Substanz entwirft. Solche Substanzen haben nämlich die Eigenschaft, bläulichweisses Licht zurückzuwerfen, wenn sie von ultravioletten Strahlen getroffen werden. Die Helligkeit dieser Fluorescenz übertrifft die Helligkeit der ultravioletten Strahlen um das 1200fache.

Endlich kann man auch auf chemischem Wege die Gegenwart dieser Strahlungen zur Erscheinung bringen, wenn man ein in Chlorsilber getränktes Papierblatt dem Sonnenspectrum aussetzt, indem dann dasselbe so weit geschwärzt wird, als die Strecke von den Fraunhofer'schen Linien H bis R reicht. Die ultravioletten Strahlen werden desshalb auch chemische Strahlen genannt.

Viel schwieriger ist es, die überrothen Strahlungen zur Wahrnehmung zu bringen. Es geschieht dies durch Abblendung der übrigen hellen Theile des Spectrums durch ein rothes Glas, zu welchem man ein allerdings auch noch mit Kobaltoxyd blau gefärbtes hinzufügen muss, welches die durch das rothe Glas gehenden orangefarbigen Strahlen absorbirt. Es ist jedoch dieser Theil des Spectrums zwischen A und B sehr klein und enthält reines, rothes Licht. Auf dieser Seite des Sonnenspectrums finden sich solche Strahlungen vor, welche in der That nicht als Farben zur Wahrnehmung kommen können, sondern ihre Gegenwart nur durch Temperaturerhöhung verrathen, wesshalb man sie dunkle Wärmestrahlen genannt hat. Unter gewöhnlichen Verhältnissen kann das menschliche Auge, wie schon erwähnt, die Strahlungen diesseits der Linie B und jenseits der Linie H nicht auffassen und wird dieser Mangel als ein Vortheil für den Sehact angesehen, weil sonst die Retina, welche selbst einen gewissen Grad von Fluorescenz besitzt, so viel diffuses Licht zurückstrahlen würde, dass dieses diffuse Licht der Wahrnehmung hinderlich sein könnte.

Während diese für gewöhnlich unsichtbaren Strahlen mit geringster Intensität auf die Netzhaut einwirken, sind es die gelbgrünen Strahlungen zwischen den Linien D und E, aber ganz nahe an D, welche die grösste Lichtintensität zu haben scheinen. Von dieser Stelle aus nimmt die Intensität des Lichtes zu beiden Seiten erst schnell, dann langsam und schliesslich wieder rasch ab.

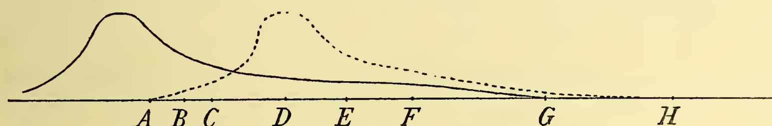
Um zu erfahren, ob diese scheinbare stärkste Lichtintensität auch objectiv vorhanden ist, untersucht man die Temperaturerhöhung, welche ein das homogene Licht vollkommen absorbirender Körper in der Zeiteinheit erleidet. Bei den Aetherschwingungen im Inneren solcher Licht absorbirender Körper nämlich äussert sich die Energie der Strahlung nicht durch einen Lichteindruck, sondern durch Wärme.

Es stellte sich bei einer solchen Untersuchung heraus, dass die stärkste Energie der Bestrahlung im Roth erfolge, und dass die Intensitätscurve zuerst sehr rasch abfallend sich von der Grenze des Roth bis an das Ende des Spectrums allmälig verliert. Die Ursache, wesshalb dem menschlichen Auge die grösste Intensität im Gelb zu liegen scheint, liegt demnach nicht in einem objectiven Verhalten der Lichtstärke,

sondern darin, dass die Netzhaut vom Lichte mit 550 Billionen Schwingungen in der Sekunde am stärksten gereizt zu werden scheint.

Will man zu einem Ausdruck gelangen, welcher sowohl der subjectiven Empfindung, als auch der objectiven Energie der Bestrahlung Rechnung trägt, so stelle nach Fick in untenstehender Fig. 55 die horizontale Linie das Spectrum mit den Frauenhofer'schen Linien vor. Die ausgezogene Curve bezeichne die objective Lichtintensität und

Fig. 55.



die punktirte Curve die scheinbare Intensität. Die Ordinaten dieser letzteren getheilt durch die Ordinaten der ersteren geben uns dann den gesuchten Ausdruck. Dieser Quotient hat im Gelb den grössten Werth, gegen Roth hin wird er rasch kleiner, während er gegen das violette Ende des Spectrums sich nur allmälig verkleinert.

Ebenso wie man weisses (farbloses) Licht durch das Spectrum in eine Reihe von Farben zerlegen kann, kann man in umgekehrter Weise aus allen Spectralfarben zusammengenommen oder auch aus dreien oder zweien von ihnen weisses (graues) Licht bilden. Zwei Farben, welche sich gegenseitig zu Weiss ergänzen, oder mit einander gemischt Weiss geben, heisst man complementäre oder Gegenfarben (Hering). So ist die Complementärfarbe von Roth Blaugrün, die von Orange Grünblau, von Gelb Blau u. s. f. Nur reines Grün hat im Spectrum keine complementäre Farbe, indem das die beiden Enden des Spectrums verbindende Purpur das Complement zu Grün bildet.

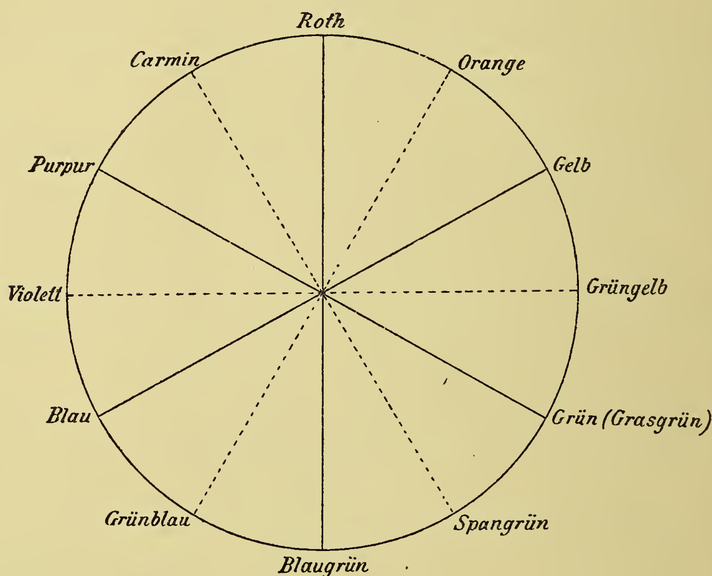
Man darf sich jedoch nicht vorstellen, dass wir die complementären Farben in gleichem Verhältnisse mit einander mischen können, um Weiss zu erhalten, sondern in jedem solchen Gemische ist die eine Farbe stärker vertreten als die andere. Man hat das Verhältniss der Betheiligung zweier complementärer Farben bei der Bildung von Weiss verglichen mit zwei verschiedenen Massen, welche an den Endpunkten eines zweiarmigen Hebels wirken, welcher symbolisch die Verbindung der beiden Complementärfarben darstellt und in dessen Schwerpunkt Weiss liegt.

Wir werden später sehen, in welcher Weise die Farben symbolisch dargestellt werden müssen, um aus einer solchen Darstellung alle die Farben betreffenden Verhältnisse ableiten zu können. Hier wollen wir nur anführen, dass man, um eine übersichtliche Darstellung der Complementärfarben zu geben, die wichtigsten von ihnen in einem Kreise angeordnet hat (Brücke), in welchem je ein Durchmesser zwei gegenüberliegende complementäre Farben mit einander verbindet (s. Fig. 56).

Nach dieser Darstellung, nach welcher Weiss offenbar im Centrum des Kreises liegt, würde die Betheiligung zweier Complementärfarben zur Bildung von Weiss immer die gleiche sein, was, wie schon erwähnt, unrichtig ist. Diese Anordnung führte aber zur symbolischen Darstellung einer Farbenkugel, in welcher in vortheilhaftester Weise alle Farben-

töne und Nuancen untergebracht sind. Ist nämlich dieser Kreis der Aequator einer Kugel, so können wir uns an den beiden Polen derselben Weiss und Schwarz denken, und die Axe, die diese beiden Pole verbindet, die Uebergänge von Weiss zu Schwarz durch Grau darstellend. Der Mittelpunkt dieser Kugel wird dann das neutrale Grau bilden. Die Meridiane derselben, die wir uns an den Orten, an welchen die Farbennuancen im Kreise stehen, gezogen denken, stellen die Mischungen der betreffenden Farben mit Weiss und Schwarz vor, so dass je näher die Stelle eines Meridianes dem oberen Pole liegt, die Farbennuance eine um so weisslichere, und je näher eine solche Stelle an den unteren Pol grenzt, eine desto dunklere wird. Die Wendekreise verbinden desshalb Farbennuancen von gleicher Helligkeit. Ein Querschnitt der Kugel im Aequator wird nach aussen die gesättigten Farben und eine um so

Fig. 56.



dunklere Nuance derselben zeigen, je näher an das Centrum die Stelle der radiär verlaufenden Farbe tritt. Ein verticaler Hauptschnitt wird alle weissen, grauen und schwarzen Nuancen der beiden Farben zeigen, durch welche der Schnitt gelegt ist. Denkt man sich die Kugel aus concentrischen Schichten zusammengesetzt und hebt Schichte für Schichte ab, so wird man eine kleinere Kugel mit denselben Farbentönen, wie die der ganzen, jedoch mit einer immer stärkeren Beimischung von Grau erhalten, je näher die Schichten an das Centrum der Kugel heranrücken. Die Kugel stellt uns somit alle denkbaren und unendlich viele Farben und Farbennuancen dar.

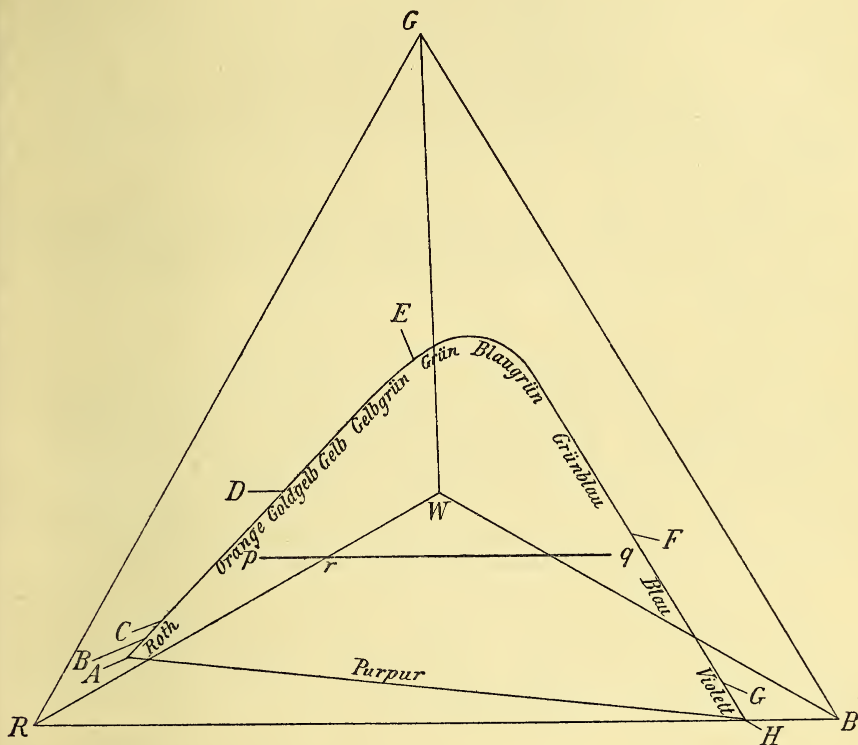
Will man aber eine symbolische Darstellung der Farbentöne entwerfen, welche nicht nur dem richtigen Verhältnisse der sich zu Weiss completirenden Farben, sondern auch dem Unterschiede in den Farbentönen durch ein richtiges räumliches Verhältniss entspricht, so muss

das Farbenspectrum eine lang ausgezogene hufeisenförmige Gestalt bekommen (Fig. 57), deren Endpunkte die Purpurlinie verbindet, und auf welcher die Spectralfarben, sowie die Frauenhofer'schen Linien im richtigen Verhältniss zu einander verzeichnet sind.

Zwischen den Schenkeln der Curve liegt ein Punkt W, welchen man als Pol bezeichnen kann, durch welchen alle Linien, die je zwei sich zu Weiss completirende Farben mit einander verbinden, hindurchgehen müssen.

Der hohle Winkel, welchen die von zwei Farbentönen ausgehenden Fahrstrahlen mit einander bilden, gibt dann das Maass ab für den Unter-

Fig. 57.



schied der betreffenden Farben. So ist z. B. klar, dass der Unterschied zwischen Roth und Violett geringer ist, als der zwischen Roth und Grün, indem der Winkel R W H kleiner ist, als der Winkel R W G.

Durch eine solche symbolische Darstellung, bei welcher ein planes Flächenstück von einer Curve begrenzt ist, und welche einen derart gelegenen Pol einschliesst, durch welchen alle Linien, welche je zwei complementäre Farben mit einander verbinden, hindurchgehen müssen, ist die ganze unendliche Mannigfaltigkeit sowohl der Farbentöne als auch der Farbennuancen hergestellt. Es stellt nämlich der Punkt W die wichtigste der gemischten Farbenempfindungen des Weiss vor, während auf den Fahrstrahlen alle weissen Nuancen des Farbentones sich be-

finden, welche einen immer stärkeren Grad von Sättigung erreichen, je näher der Fahrstrahl an die Curve der Spectralfarben gelangt.

Aber nicht nur die homogenen Strahlungen und ihre weissen Mischfarben, sondern jede aus zwei oder mehr Farben gemischte Strahlung kann in diesem Flächenstücke gefunden werden, wenn man die Intensitäten der zu mischenden elementaren Farben als Massen ansieht, welche an den Endpunkten der die beiden elementaren Farben verbindenden Linie wirken, und nun den Schwerpunkt sucht. Der Fahrstrahl, welcher an dem Schwerpunkte die oft erwähnte Verbindungslinie schneidet, gibt den Farbenton und seine Nuance an, welche aus der Mischung resultirt.

Will man z. B. Orange und das Blau der Linie F mit einander mischen und erfahren, welcher Farbenton aus dieser Mischung resultirt, so braucht man nur die Linie p q zu ziehen und anzunehmen, dass die Intensität des zu mischenden Orange 4mal so gross sei, als die des Blau, dann gibt der Fahrstrahl R W an dem Punkte r, wo er die Linie p q durchschneidet, die farbige Empfindung an, welche aus der Mischung resultiren wird. Diese wird nämlich eine ziemlich weisse Nuance des spectralen Roth sein.

Sollen drei oder mehr einfache oder gemischte Farben mit einander gemischt werden, so braucht man nur die resultirende Mischfarbe von zwei elementaren Farben mit einer dritten elementaren oder mit der Mischfarbe in ähnlicher Weise zu verbinden, wie wir dies soeben gethan haben.

Da es bei den Mischfarben nicht darauf ankommt, aus welchen verschiedenen Wellenlängen ihr Licht zusammengesetzt ist, sondern darauf, welche Farbeneindrücke dasselbe auf der Netzhaut erzeugt, so war es naheliegend, dass man nach einer Reihe von „Grundfarben“, welche bestimmten „Grundempfindungen“ entsprechen, gesucht hat, die nicht nur im gleichen Verhältnisse mit einander gemischt Weiss geben, sondern auch, wenn sie mit verschiedener Intensität zusammenwirken, alle denkbaren Farbeneindrücke vermitteln könnten.

Wie viele solcher Grundfarben und welche man annehmen sollte, war bis zu einem gewissen Grade dem Belieben überlassen, nur musste in jedem Falle die Bedingung erfüllt werden, dass bei der graphischen Darstellung der Farbentafel das Polygon, welches die Grundfarben bilden, die Curve der spectralen Farben und die ihre Enden verbindende Linie vollkommen einschliesse (Fig. 57).

Es ist selbstverständlich, dass man sich auf die kleinste Zahl dieser Grundfarben, die dieser Bedingung gerecht werden, beschränkte, das sind drei, welche in den Ecken eines gleichseitigen, die Curve gerade umschliessenden Dreieckes sich befinden. Diese Wahl fiel auf Roth, Grün, Violett, oder besser Roth, Grün, Blau, letzteres desshalb, weil der Unterschied in dem Farbentone zwischen Violett und Roth kleiner ist, als der zwischen Roth und Grün, und desshalb der Bedingung, dass die drei Grundfarben in gleicher Intensität sich bei der Bildung von Weiss betheiligen, nicht entsprochen wird. Wählt man aber Blau, und zwar Indigblau, so dürfte der Unterschied in den Farbentönen der Grundfarben ein ziemlich gleicher sein.

Bei der bildlichen Darstellung der Grundfarben liegt es auch im Belieben, ob man die Ecken des gleichseitigen Dreieckes näher oder

weiter von der Curve zeichnen will. Es ist in dieser Beziehung nur eine Bedingung zu erfüllen, nämlich die, dass der im Durchschnittspunkte der drei Fahrstrahlen liegende Pol noch innerhalb der Spectralcurve sich befinde.

Auf diesen Voraussetzungen ist die von Thomas Young angegebene und von Helmholtz erweiterte Farbentheorie gegründet. Sie lautet:

Den drei Grundempfindungen Roth, Grün und Violett entsprechen in jedem Netzhauttheile drei gesonderte Elemente, welche diese Empfindung vermitteln.

1. Die Reizung des ersten Elementes erregt die Empfindung Roth, die Reizung des zweiten Elementes die Empfindung Grün, Reizung des dritten Elementes die Empfindung Violett.

2. Roth erregt am meisten die rothempfindenden, Grün die grünempfindenden, Violett die violettempfindenden Elemente. Es ist aber die weitere Annahme unerlässlich, dass von jeder Farbe auch die beiden anderen Elemente, jedoch in viel geringerem Grade, gereizt werden.

Roth erregt am stärksten die rothempfindenden, viel schwächer und in fast gleichem Verhältnisse die grün- und violettempfindenden.

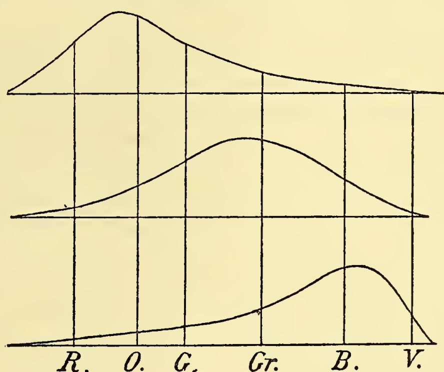
Gelb erregt die roth- und grünempfindenden Elemente gleich stark, wenig die violettempfindenden.

Grün erregt stark die grünempfindenden, schwach und in gleichem Verhältnisse die roth- und violettempfindenden.

Blau erregt in gleichem Grade und ziemlich stark die grün- und violettempfindenden, sehr schwach die rothempfindenden Elemente.

Violett erregt stark die violettempfindenden, schwächer die grünempfindenden und am schwächsten die rothempfindenden Elemente (siehe Fig. 58).

Fig. 58.



Die Anhänger der Young-Helmholtz'schen Theorie behaupten, dass alle in die Farbenlehre einschlägigen Verhältnisse incl. der Farbenblindheit aus derselben erklärt werden können, ja dass diese letztere sogar eine mächtige Stütze der Theorie abgebe, und es werden nur einige wenige Thatsachen angeführt, welche sich aus der Young'schen Theorie wenigstens nicht unmittelbar erklären lassen.

Eine dieser Thatsachen ist die, dass Farben, welche auf einem grösseren Bereiche des Netzhautpoles ausgedehnt einen gesättigten Eindruck machen, auf eine sehr kleine Netzhautstelle beschränkt einen weisslichen Eindruck hervorrufen, in welchem gar keine Farbe erkannt wird, ferner dass mehrere neben einander liegende sehr kleine farbige Objecte in ihrer Farbe erkannt werden, während ein einzelnes von ihnen, dessen Fläche einen sehr kleinen Gesichtswinkel bildet, farblos erscheint.

Wenden wir uns nun zuerst der Farbenblindheit zu, so wollen wir untersuchen, ob alle Erscheinungen, die durch dieselbe hervorgerufen werden, sich auch wirklich leicht aus der Dreifarbentheorie erklären lassen.

Bevor wir aber an diese Untersuchung gehen, müssen wir die von Hering herrührende Theorie der Farbenempfindung auseinandersetzen. Hering ging dabei von dem Gedanken aus, dass wir die physikalisch hervorrufbaren einfachen und gemischten Farben nicht ohne Weiteres auf unsere Farbenempfindungen übertragen dürfen, sondern uns fragen müssen, welche Farbe uns als einfach und welche Farbe uns als gemischte erscheint. So sei die Weissempfindung sicherlich eine einfache Empfindung, da niemand in Weiss andere Farben wahrnehmen könne, wie man etwa in einem Dreiklange die einzelnen Töne wahrnehme. Schwarz sei ebenfalls eine selbstständige und einfache Empfindung und nicht identisch mit dem Mangel an Licht, sondern es trete die Empfindung von Schwarz erst unter dem Einflusse des Lichtes auf.

Die Farben entständen durch eine chemische Veränderung in der Sehsubstanz, welche irgendwo im Verlaufe des nervösen Apparates für die Sehfunction ihren Platz habe, und jene bestehe darin, dass unter dem Einflusse des Lichtes durch „Dissimilirung“ die Empfindung von Weiss entstehe, während durch „Assimilirung“ die Empfindung von Schwarz hervorgerufen wird, wenn bestimmte Netzhautstellen von einer Fläche kein Licht erhalten.

In einer späteren Publication nimmt Hering an, dass die Veränderungen in der Sehsubstanz durch einen psychophysischen Process hervorgerufen würden.

Ausser der weiss-schwarzen Substanz gebe es noch zwei andere Sehsubstanzen, in welchen je ein Paar von Farben im Verhältnisse der Dissimilation und Assimilation zu einander ständen, und zwar die roth-grüne und die gelb-blaue Sehsubstanz; welche von diesen letzteren durch Dissimilirung, welche durch Assimilirung zustande komme, ist noch nicht sicher gestellt. Nur bestehe zwischen diesen Farben ein solcher Gegensatz, dass die eine die andere vollständig aufheben könne. Hering benannte desshalb diese Farben mit dem Ausdrucke „Gegenfarben“.

Bei Einwirkung von farblosem Lichte werden alle Sehsubstanzen, die roth-grüne und gelb-blaue aber derart erregt, dass die Farben einander auslöschen und nur die Weissempfindung übrig bleibt. Die weiss-schwarze Substanz werde bei Erregung der anderen immer mit erregt und je nach dem Antheile ihrer Erregung sei die Empfindung die einer gesättigten Farbe oder die einer mehr weissen oder dunklen Nuance.

In Folge dessen gebe es keine einfache Farbenempfindung, und wenn auch eine solche Empfindung vorerst etwas Einheitliches zu sein scheine, so gelänge es manchmal, zuweilen weniger, zuweilen eher die Zusammensetzung derselben aus mehreren einfachen Empfindungen festzustellen, so wie man in einem Accorde die einzelnen Töne, aus welchen er zusammengesetzt ist, herausfinden kann.

Eigentlich werden von jedem Lichte alle Grundfarbenpaare in den Sehsubstanzen erregt, nur die einen stärker, so dass sie deutlich hervortreten, die anderen so schwach, dass sie unter der Schwelle das Bewusstseins bleiben. In den Farbenmischungen, welche Hering, wenn Farben mit farblosen Gesichtsempfindungen gemischt sind, als Nuan-

cirung bezeichnet, ist nebst den schwarz-weissen Empfindungen noch eine oder sind höchstens zwei Farben vorhanden, und es gibt kein Gemische, in welchem Roth oder Grün, und Gelb und Blau gleichzeitig nachzuweisen wäre. Sobald eine Farbenmischung Roth und Gelb erregt, bleiben Grün und Blau unter der Schwelle und umgekehrt.

Alle Spectralfarben sind mehr oder weniger mit Weiss oder Schwarz gemischt, mit ersterem am meisten Gelb oder Gelbgrün, wesshalb diese Stelle des Spectrums am hellsten erscheint. Zu beiden Seiten nimmt die Vermengung mit Weiss bis an die beiden Enden des Spectrums continuirlich ab. Dieses Hervorstechen von Weiss im mittleren Theile des Spectrums nennt Hering die weisse Valenz. Da Gelb sowohl gegen Roth als gegen Grün hin in allen homogenen Farben enthalten ist, so nennt Hering die erste Hälfte des Spectrums die gelbe, und da Blau in der zweiten Hälfte eine ähnliche Rolle spielt, die zweite die blaue Hälfte des Spectrums.

Gelb theilt überdies die erste Hälfte des Spectrums in zwei Viertel des Ganzen und Blau theilt ebenfalls die zweite Hälfte in zwei Viertel. Das erste Viertel hat rothe, gelbe und weisse Valenz, das zweite Viertel hat gelbe, grüne und weisse Valenz, das dritte Viertel hat grüne, blaue und weisse Valenz, das vierte Viertel hat blaue, rothe und weisse Valenz. Da das zweite und dritte Viertel des Spectrums in allen seinen Abstufungen grüne enthält, so nennt Hering dieselben die grüne Hälfte des Spectrums, ebenso wie er das erste und vierte Viertel, weil es in allen seinen Abstufungen Roth enthält, die rothe Hälfte nennt.

Mischt man zwei homogene Lichter, welche nebst Weiss Farben enthalten, welche im Verhältnisse der Gegenfarben zu einander stehen, so löschen diese letzteren einander aus, während die weisse Empfindung, die beide Lichter hervorbringen, sich summirt. Solche homogene Lichter nennt Hering gegenfarbig äquivalent; aber nicht nur homogene Lichter, sondern auch gemischte können gegenfarbig äquivalent sein und nebst Weiss noch eine Farbe aus dem Gemische resultiren. Enthält z. B. ein Gemische nebst rothem Lichte noch gelbes und weisses, und ein zweites Gemische nebst den beiden letzteren noch grünes Licht, so wird das Resultat der Vermengung dieser beiden Gemische ein weissliches Gelb und es werden die beiden Gemische gegenfarbig äquivalent sein. Zeigt aber in solchen zwei Gemischen z. B. das Roth in einem derselben stärkere Valenz als das Grün in dem anderen, dann heben sich die gegenfarbig äquivalenten Farben nur theilweise auf und die resultirende Farbe wird ein lichtes Gelb sein, das ins Röthliche spielt. Gibt ein Farbengemische eine bestimmte farbige Valenz und ein anderes anders zusammengesetztes dieselbe Valenz, so nennt Hering solche Gemische gleichfarbig äquivalent. Schliesslich muss noch erwähnt werden, dass Hering ein Urgrün, ein Urgelb und Urblau annimmt und diese ganz unvermischten Töne nur durch sehr schmale Streifen im Spectrum vertreten findet, dass er aber ein eigentliches Urroth nicht anerkennt, da demselben fast bis zur Linie B Gelb beigemischt ist. Nur die schwärzlichste Nuance des Roth soll sich dem Urroth nähern.

Kehren wir jetzt zur Farbenblindheit zurück, so müssen wir von dieser um so ausführlicher sprechen, nicht nur desshalb, weil dieselbe einen Maassstab abgibt über die Haltbarkeit der aufgestellten Farben-

empfindungstheorien, sondern weil wir unter einem die Methoden kennen lernen, mittelst welchen die Farbenempfindung geprüft werden kann.

Die Farbenblindheit ist seit etwa 100 Jahren bekannt, seit Josef Huddart in einem Briefe an Josef Priestley von einem Schuster Namens Harris in Maryport in Cumberland erzählte, welcher nur Schwarz und Weiss unterscheiden konnte und zwei Brüder hatte, die einen ähnlichen Sinnesfehler hatten. Der eine von ihnen hielt immer eine Orange für grün. Harris selbst erkannte seinen Fehler als vierjähriges Kind, als er einen auf der Strasse gefundenen Strumpf ins Nachbarhaus trug, um nach dem Eigenthümer zu forschen. Man sprach dort von einem „rothen" Strumpfe, worüber sich Harris höchlich wunderte, da dies nach seiner Meinung ein Strumpf wie andere Strümpfe war. Dies blieb ihm im Gedächtnisse und trug nebst anderen Beobachtungen dazu bei, dass er sich seines Fehlers sehr früh bewusst wurde. Er machte z. B. die Bemerkung, dass andere Kinder die Kirschen am Baume an einer vorgeblichen Verschiedenheit der Farbe erkannten, während er selbst dieselben nur an der Gestalt und Grösse von den Blättern unterscheiden konnte.

Der berühmte Chemiker John Dalton beschrieb im Jahre 1794 seinen eigenen Gesichtsfehler. Er konnte am Tage Blassroth (soll wohl Rosa heissen) von Blau nicht unterscheiden. Im Spectrum konnte er kaum die rothe Farbe erkennen, er sah darin nur Gelb und Blau. Er scheint sich seines Fehlers lange Zeit nicht bewusst gewesen zu sein und war eher geneigt zu glauben, dass in der Benennung der Farben einige Verwirrung herrsche, als dass er sich selbst für unfähig hätte halten sollen, dieselben zu unterscheiden.

Nach ihm wurde dieser Gesichtsfehler Daltonismus genannt, und zwar wurde dieser Ausdruck, wie es scheint, zuerst von Pierre Prévost in Genf im Jahre 1827 gebraucht. Die Engländer protestirten jedoch gegen diese Art der Verewigung ihres berühmten Landsmannes und David Brewster schlug die Bezeichnung Colour-blindness (Farbenblindheit) vor, welche sich in England und Deutschland einbürgerte, während in Frankreich noch immer die Ausdrücke Daltonisme und Daltonier üblich sind. Dalton war jedoch rothblind (roth-grünblind) und es wäre desshalb eine unpassende Art der Bezeichnung, jeden Farbenblinden Daltonist zu nennen.

Seebeck (1837) und Wilson (1855) haben sich um die Kenntniss der Farbenblindheit grosse Verdienste erworben; aber erst der neuesten Zeit war es vorbehalten, sowohl in Bezug auf die Häufigkeit des Vorkommens der Arten der Farbenblindheit, als auch in Bezug auf die theoretische Begründung derselben nähere Kenntnisse zu gewinnen.

Um das Verständniss des Gegenstandes zu erleichtern, wollen wir mit den Theorien beginnen, aus welchen man die Erscheinungen an Farbenblinden erklärt.

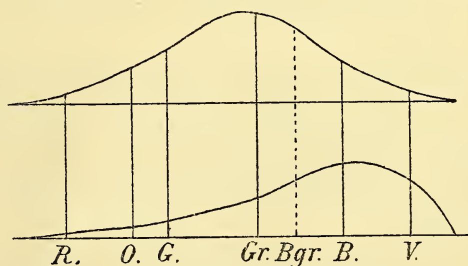
Die Young-Helmholtz'sche Theorie, die bis vor wenigen Jahren die Anschauungen der Physiologen und Ophthalmologen vollkommen beherrschte und noch jetzt zahlreiche Anhänger zählt, birgt eine Reihe von Mängeln, welche wir an diesem Orte nicht verschweigen können. Sie begeht vor Allem den Fehler, dass sie, wie Stilling ihr mit Recht vorwirft, unsere Empfindungen den physikalischen Gesetzen und Er-

scheinungen unterordnet und aus diesen zu erklären versucht, statt letztere mit unseren Empfindungen in Einklang zu bringen. Man kann im physikalischen Sinne von drei Grundfarben sprechen, diesen aber entprechen durchaus nicht drei Grundempfindungen.

So wird es wohl kaum einen Menschen geben, der Violett für eine einfache Farbe hält, im Gegentheile empfindet Jedermann im Violett eine Mischfarbe aus Blau und Roth. Noch weniger wird sich ein Mensch überreden lassen, dass Weiss eine Mischfarbe sei. Wir können uns auch bei voller Kenntniss davon, dass Weiss aus Vermischung sämmtlicher Spectralfarben entsteht, nicht überzeugen, dass dem so sei. Wir sehen im Weiss nicht verschiedene Farben, wie wir etwa in einem Dreiklang die einzelnen Töne unterscheiden, wie Hering sagt. Ebenso geht es uns mit homogenem Gelb (Chromgelb) und reinem Blau. Niemand wird es einfallen, dass dieses Gelb aus einer Mischung von Roth und Grün, dieses Blau aus einer Mischung von Grün und Violett entstanden sei.

Noch wichtiger sind aber die Erscheinungen bei Farbenblinden, die sich nur in gezwungener Weise oder auch gar nicht aus der Young'schen Theorie erklären lassen. Hier ist es insbesondere die Thatsache, dass nichts dafür spricht, dass bei angeborener Farbenblindheit die Empfindung für Weiss gegenüber dem Weiss des normalen Farbensinnes verändert sei. Allerdings nimmt die Theorie an, dass sich auch aus zwei Grundfarben nach bestimmten Verhältnissen Weiss mischen lässt; aber dieses Weiss kann unmöglich identisch sein mit jenem, welches aus allen drei Grundfarben gemischt ist. Es wäre aber möglich, dass die Farbenblinden nur die Empfindung des aus zwei Elementen zusammengesetzten Weiss, das also dem unseren durchaus nicht gleich ist, besitzen; wir haben aber, soweit ich sehe, kein Mittel in der Hand, um diese Möglichkeit eruiren zu können. Es ist aber durchaus unwahrscheinlich, dass die Empfindung für Weiss bei den Farbenblinden eine veränderte sei, weil wir bei erworbener Farbenblindheit mit gut erhaltener centraler Sehschärfe niemals eine Klage darüber hören, dass sich die Empfindung für Weiss verändert habe, was doch der Fall wäre, da derjenige, der die Farbenblindheit auf irgend eine Weise erwirbt, die Erinnerungen an seine früheren Empfindungen noch aufbewahrt haben müsste.

Fig. 59.



Vergleichen wir nun, wie die Farbenblinden der Young-schen Theorie nach die verschiedenen Spectralfarben sehen müssten, damit, wie sie sie wirklich sehen. Nehmen wir Rothblindheit (Helmholtz, Holmgren) an, dann würde unser Schema nur aus zwei Erregungscurven bestehen (siehe die nebenstehende Fig. 59), und zwar denjenigen der grün- und violettempfindenden Elemente.

Spectrales Roth müsste sein dunkelgrün (siehe R.), weil fast nur die grünempfindenden Fasern und diese nur mit geringer Intensität

erregt werden, ist aber dunkelgrau, dunkelbraun und hellerbraun, zuweilen dunkelgrün.

Orange (O.) müsste sein mittleres Grün, ist aber gelb.

Gelb (G.) müsste sein lichtes Grün, ist aber gelb.

Grün [Gelbgrün] (Gr.) müsste sein lichtes Grün, ist aber gelb.

Grün [Blaugrün] (Bgr.) müsste sein lichtes Blaugrün, weil nebst den grünempfindenden auch, obwohl in geringerem Grade, die violettempfindenden Fasern erregt werden, ist aber farblos oder grau, angeblich weil die dem Rothblinden bleibenden Grundempfindungen, in gleichem Maasse erregt, Weiss oder Grau geben.

Blau (B.) müsste sein grünblau, ist aber lichtblau.

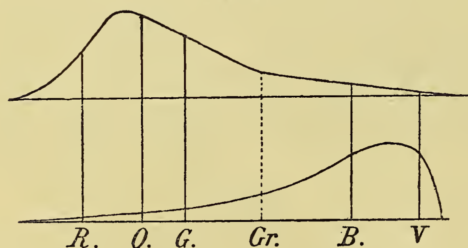
Violett (V.) müsste sein violett, ist aber dunkelblau.

Helmholtz erklärt die Thatsache, dass die Rothblinden den ganzen links gelegenen Theil des Spectrums bis zum Blaugrün für Gelb erklären, dadurch, dass er annimmt, alle diese grünen Töne werden zwar als solche empfunden, da aber im spectralen Gelb die grösste Helligkeit und Sättigung sich vorfindet, so nennen die Rothblinden alle diese eigentlich grünen Töne Gelb.

Dieser Annahme widersprechen aber bekannte Thatsachen im normalen Auge und bei erworbener Farbenblindheit. Normale Augen bezeichnen in der rothblinden Gesichtsfeldsperipherie Grün ebenfalls als Gelb, und bei erworbener Rothblindheit wird Gelb und Grün als Gelb bezeichnet, während doch in beiden Fällen eine richtige Vorstellung von Gelb vorhanden sein muss.

Sehen wir zu, wie die von den Anhängern der Young-Helmholtzschen Theorie sogenannte Grünblindheit und die bei derselben auftretenden Erscheinungen aus der Theorie erklärt und in welcher Weise die Widersprüche gegen die Theorie ausgeglichen werden.

Fig. 60.



Nach der Young'schen Theorie muss angenommen werden, dass den Grünblinden die grünempfindenden Netzhautelemente fehlen, und das Schema der Erregungscurven muss so ausfallen, wie es Fig. 60 zeigt. Sehen wir nun wieder, wie sich die homogenen Spectralfarben nach dieser Theorie gestalten müssten, und wie sie in Wirklichkeit solchen Farbenblinden erscheinen.

Roth, welches stark die rothempfindenden Elemente und sehr wenig die violettempfindenden reizt, müsste ein gesättigtes Roth sein, gesättigter, als es bei normaler Farbenempfindung erscheint, weil die Beimischung von Grün fehlt, es wird aber meistens Gelb genannt.

Orange müsste ein helleres Roth sein mit leichter Beimischung von Weiss, weil die violetten Fasern von demselben schon mehr erregt werden, ist aber gelb.

Gelb sollte ein noch lichteres Roth sein, ist jedoch gelb.

Grün sollte purpurroth sein, weil Roth und Violett in ziemlich

gleichem Maasse mit einander gemischt sind, ist aber grau, angeblich wegen der gleichmässigen Erregung der beiden dem Grünblinden zugehörenden Grundfarben.

Blau sollte ein gesättigtes Violett sein, ist aber blau.

Violett sollte ein lichtärmeres, aber gesättigtes Violett sein, ist jedoch ein lichtschwaches Blau.

Dass die sogenannten „Grünblinden" die erste Hälfte des Spectrums als Gelb bezeichnen, soll daher rühren, dass Orange vom Volke ebenso häufig als Roth, als wie auch als Gelb bezeichnet wird, und weil es der lichtstärkste Ton ist, so soll nach ihm die ganze erste Hälfte des Spectrums benannt werden. Es wird übrigens von den Anhängern dieser Theorie zugestanden, dass sowohl die Rothblinden, als auch die Grünblinden Roth und Grün mit einander verwechseln können, nur müsste im ersten Falle das Grün viel dunkler sein als das spectrale Grün und im zweiten Falle das Roth viel heller als das spectrale Roth. Dieses Zugeständniss birgt zugleich die Voraussetzung in sich, dass den Farbenblinden der einen, sowie der anderen Art Roth und Grün von bestimmten Nuancen gleichfarbig erscheinen müssen, und diese dritte Farbe, welcher die beiden ersteren gleichen, könne nur Gelb oder Grau sein.

Wird dies aber zugegeben, dann muss auch zugegeben werden, dass der Rothblinde gleichzeitig grünblind und der Grünblinde gleichzeitig rothblind sei.

In Betreff der Violettblindheit (Blaublindheit, Maxwell) wissen wir nichts Näheres anzugeben, weil dieser Fehler nur äusserst selten vorhanden sein soll. War es den Anhängern der Young-Helmholtz'schen Theorie schwierig, die Erscheinungen bei partieller Farbenblindheit der Theorie halbwegs anzupassen, so gelingt dies vollends nicht bei der totalen Farbenblindheit. Ueber dieselbe waren bis vor Kurzem nur sehr geringe Kenntnisse verbreitet, weil ein solcher Farbenblinder bis vor kurzer Zeit nicht wissenschaftlich untersucht worden war. Die Anhänger der Dreifarbentheorie erklärten die totale Farbenblindheit dadurch, dass sie annahmen, dass von den drei nervösen Elementen, welche der Farbenperception vorstehen, zwei fehlen oder gelähmt sind, so dass Farben von jeder Wellenlänge nur die eine Faserart zu erregen imstande seien, allerdings mit verschiedener Intensität. Es müssten demnach dem total Farbenblinden alle Objecte entweder roth oder grün oder violett erscheinen und in Roth, Grün resp. Violett die grösste Helligkeit vorhanden sein; im letzteren Falle würde das Spectrum an seiner linken, im ersteren an seiner rechten Seite verkürzt sein.

Dies konnte man glauben, bis im Jahre 1879 O. Becker einen Fall von einseitiger totaler Farbenblindheit veröffentlichte, wobei es der Patientin möglich war, die Empfindungen ihres linken, farbenblinden Auges durch die normalen Empfindungen ihres rechten zu controliren.

Die Voraussetzungen, welche der Theorie nach gemacht werden mussten, wurden in keinem Punkte durch die Thatsache bestätigt. Weder sah das total farbenblinde Auge alles Roth, Grün oder Violett, noch lag die grösste Helligkeit des Spectrums in diesen Farben, sondern dort, wo sie gewöhnlich zu finden ist, im Gelb; endlich zeigte sich

keine Verkürzung des Spectrums. Noch ein Umstand macht diesen Fall besonders interessant, nämlich der, dass die Patientin nicht vollkommen farbenblind war, indem sie Braun farbig sah, d. i. wirklich als Braun erkannte. Es handelte sich demnach in diesem Falle um eine Roth-Grünblindheit mit nicht ganz vollständiger Blau-Gelbblindheit, wie sich dies nach der Theorie von Hering ergibt.

Die Theorie von Helmholtz ist nicht imstande, diesen Fall aufzuklären, und da die Erscheinungen bei partiell Farbenblinden ebenfalls den Voraussetzungen der Theorie widersprechen und die Erfahrungen, die man bei erworbener Farbenblindheit, sowie in der Gesichtsfeldsperipherie mit Farben gemacht hat, ebenfalls mit der Theorie nicht in Uebereinstimmung zu bringen sind, wird man zugeben müssen, dass die Dreifarbentheorie unseren Farbenempfindungen nicht entspricht.

Man hat es gerade in Bezug auf die Controle des Netzhautcentrums gegenüber der Farbenempfindung der Gesichtsfeldsperipherie und in Bezug auf die Controle des Gedächtnisses bei erworbener Farbenblindheit versucht, die Theorie von Helmholtz zu modificiren. Diese Modification besteht darin, dass man annimmt, dass alle drei Faserarten vorhanden sind und erregt werden können, dass sie aber von jeder Strahlenart in gleichem Grade erregt werden, so dass keine farbige, sondern die Empfindung Weiss entsteht. Diese Modification ist selbst ein Widerspruch der Theorie, welche auf dem Principe der „specifischen Energien" beruht. Die rothempfindende Faser soll eben von Strahlen grösster Wellenlänge am stärksten, von allen übrigen Strahlenarten nur sehr wenig erregt werden, ebenso sollen die grün- und violettempfindenden von den entsprechenden Strahlenarten am meisten erregt werden. Gibt man diese specifischen Energien der Netzhautelemente preis, so gibt man eben die ganze Theorie auf, und zwischen der Annahme, dass drei specifische Elemente durch gleiche Erregung der Empfindung Weiss hervorrufen, und zwischen der Annahme, dass dem Auge die farbigen Valenzen fehlen und nur die Weissempfindung durch das Nervensystem vermittelt werde, gibt es keinen principiellen Unterschied.

Auch bei partieller Farbenblindheit und dann für die Roth-Grünblindheit der Gesichtsfeldsperipherie, sowie in Bezug auf die erworbene Farbenblindheit griff man zu einer ähnlichen Modification der Helmholtz'schen Theorie, indem man annahm, dass sowohl die roth-, als auch grünempfindenden Fasern durch beide Strahlenarten in gleichem Grade erregt werden, so dass sie immer Gelb mit einander geben, während die violettempfindenden (blauempfindenden) in normaler Weise nur von Licht grosser Brechbarkeit am stärksten erregt werden.

Durch diese Annahme lassen sich die Erscheinungen sowohl bei Grün- als bei Rothblindheit genügend erklären und ein Spectrum herstellen, wie es die Roth-Grünblinden in der That sehen. Es wird nämlich dasselbe in eine gelbe und violette (blaue) Hälfte getheilt erscheinen, und da man die Erregungscurven von Roth und Grün derartig formiren kann, dass sie an jener Stelle mit der violetten Erregungscurve gleiche Höhe haben, an welcher den Farbenblinden ein grauer Streifen erscheint, so wird auch hier durch gleiche Erregung aller drei Fasergattungen ein farbloser Streifen erscheinen müssen. Da man ferner den Gipfel der beiden Erregungscurven für Roth und Grün an

die Stelle des Gelb verlegen kann, so muss man zugestehen, dass in solcher Weise ein Spectrum entsteht, welches demjenigen des Roth-Grünblinden entspricht.

Aber abgesehen von den principiellen Bedenken, welche gegen eine solche Umkehrung der Theorie protestiren, muss auch hier der Einwand gemacht werden, dass durch die neue Hilfstheorie nichts anderes erwiesen wurde, als was durch die Theorie der Gegenfarben von jeher und ohne Schwierigkeiten behauptet wird.

Der Farbenblinde, der im Spectrum nur eine gelbe und blaue (violette) Hälfte sieht, würde sich nicht überreden lassen, dass seine blaue Empfindung zwar der Erregung eines specifischen Nervenelementes entspreche, dass aber seine gelbe Empfindung aus der Erregung zweier solcher Nervenelemente, nämlich der rothen und der grünen, hervorgegangen sei, und derjenige, der von der Dreifarbentheorie nichts wüsste, würde, wie Hering sich treffend ausdrückt, eine solche Annahme für „ein Spiel des Witzes“ halten.

Es erübrigt jetzt nur noch, die Erscheinungen der Farbenblindheit aus der Hering'schen Theorie der Gegenfarben zu erklären, wiewohl schon hierüber manche Andeutungen gemacht worden sind.

Es gibt nach Hering:

1. Roth-Grünblindheit.
2. Blau-Gelbblindheit.
3. Totale Farbenblindheit.

Dem Roth-Grünblinden fehlt die roth-grüne Sehsubstanz oder ihre Erregung ist so unbedeutend, dass sie unter der Schwelle bleibt. Die schwarz-weisse und blau-gelbe Substanz functioniren normal, und es besteht desshalb das Spectrum des Roth-Grünblinden aus Gelb und Blau, welche durch einen grauen Streifen (im Grün) von einander geschieden sind. Dieser graue Streifen ist etwas rechts ins Blau-Grün verschoben, wenn das linke Ende des Spectrums verkürzt erscheint, wobei das äusserste Roth als Schwarz empfunden wird, oder er ist mehr gegen das Grün-Gelb verschoben, wenn das Spectrum gegen sein äusserstes linkes Ende gelb erscheint.

Roth und Grün machen desshalb dem Roth-Grünblinden entweder die Empfindung von Grau (Schwarz), ersteres, weil in der Mitte des Spectrums die weisse Valenz vorherrscht, welche gegen beide Enden des Spectrums immer mehr der schwarzen Valenz weicht, oder Gelb in seinen weissen (lichtgelben) oder schwarzen (grauen) Nuancen (braun). Es wird desshalb Roth und Grün beständig mit einander verwechselt. Die verschiedenen Nuancen der Mischfarbe Purpur, welche nächst der schwarz-weissen Valenz eine rothe und eine blaue Valenz haben, werden selbstverständlich dem Roth-Grünblinden wegen Ausfall der rothen Valenz blau in verschiedenen Nuancen erscheinen müssen.

Beim Blau-Gelbblinden mögen ähnliche und entsprechende Erscheinungen auftreten, doch sind dieselben von Hering selbst noch nicht genauer studirt, weil dieser Fehler äusserst selten ist.

Bei totaler Farbenblindheit fehlen alle farbigen Valenzen, ausser der schwarz-weissen.

Im Becker'schen Falle war noch ausserdem eine geringgradige blau-gelbe Valenz vorhanden, welche die Patientin befähigte, Braun als Braun zu erkennen.

Nach den beiden Hilfstheorien der Dreifarbenhypothese ist dieses Empfinden von Braun absolut unerklärlich, indem weder bei Vorhandensein nur einer specifischen Energie, noch bei gleichgradiger Erregung aller drei Energien nach Helmholtz' Theorie Braun empfunden werden kann.

Ausser der vollkommenen Farbenblindheit unterscheidet Holmgren noch eine unvollkommene oder unvollständige und ausserdem noch einen „schwachen Farbensinn".

Erstere, welche schon Helmholtz erwähnt, gibt sich dadurch kund, dass Farben, wenn sie gesättigt sind und grosse Flächen einnehmen, noch erkannt, wenn sie aber stark mit Weiss gemischt sind oder keine grosse Ausdehnung inne haben, nicht erkannt werden. Auch bei schwachem Farbensinne sollen die weissen und grauen Nuancen der Farben schlechter erkannt werden.

Schliesslich muss noch angeführt werden, dass Farben auch für normal empfindende Augen bei stark sinkender Intensität und bei sehr starker Helligkeit den Eindruck des Weissen machen.

Nach der Hering'schen Theorie lässt sich dies sehr einfach erklären, indem die schwarz-weisse Valenz diejenige ist, welche am leichtesten erregt wird, bei sehr geringer Lichtintensität eben nur merkbar, während die anderen Empfindungen unter der Schwelle bleiben, bei sehr grosser Helligkeit so stark, dass bei der Stärke der weissen Valenz die farbige Valenz untergeht.

Die Helmholtz'sche Theorie muss zu einer Modification in der Darstellung der Erregungscurven flüchten, wie sie Fig. 61 zeigt, indem sowohl bei minimaler als bei blendender Helligkeit alle drei Fasergattungen je in gleichem Maasse erregt werden.

§ 62. Kehren wir wieder zur Farbenblindheit zurück, so müssen wir die Methoden kennen lernen, durch welche man die Farbenempfindung untersuchen und ihre Unregelmässigkeiten prüfen kann. Auf den ersten Blick würde es scheinen, als genügte es, solchen zu prüfenden Personen einfach farbige Pigmente vorzulegen und die Farben nennen zu lassen. Man darf aber nicht vergessen, dass unsere Farbennamen für unsere Empfindungen zurecht gemacht sind, und dass Jemand, der die Farben anders empfindet als der Farbentüchtige, dieselben Namen für andere Empfindungen verwenden muss. Da der Farbenblinde von Kindheit an gehört hat, dass das Gras grün, die Erdbeeren roth sind, so wird er die Farbenempfindung, die ihm das Gras und die Erdbeere machen, nichtsdestoweniger mit Grün und Roth bezeichnen, wenn auch die Farbenempfindungen ganz andere, nämlich licht- und dunkelbraun sind. Es sind in neuerer Zeit in Folge dieser Ueberlegung alle jene Methoden, welche auf dem Benennen der Farbennamen beruhen, als unbrauchbar abgewiesen worden.

Die Untersuchungsmethoden, welche zur Prüfung der Farbenempfindung erfunden worden sind, lassen sich in drei Hauptgruppen abtheilen:

A. Die Untersuchung mittelst Spectralfarben.

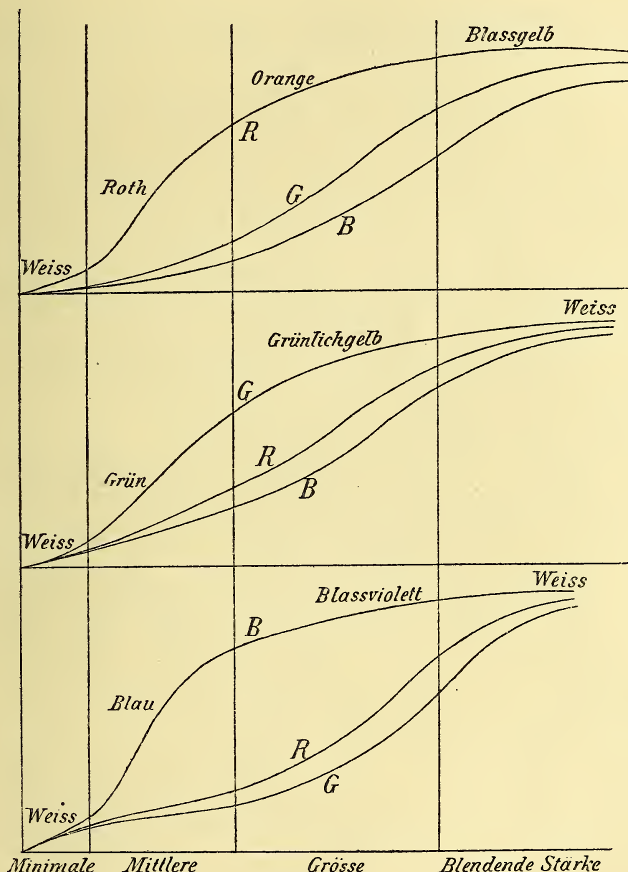
B. Die Untersuchung mittelst des successiven oder simultanen Contrastes.

C. Die Untersuchung mittelst Pigmentfarben.

A. Spectralfarben.

Ein objectives Spectrum verschafft man sich, wenn man in der früher schon erwähnten Weise das Licht durch ein Prisma zerlegen lässt, durch eine Convexlinse die stark divergirenden Strahlen sammelt und sie auf einen Schirm auffängt. Solche Spectra verlangen stark leuchtende Lichtquellen und sind, weil die Anordnung der Versuche eine etwas complicirte ist, für practische Untersuchungszwecke nicht geeignet.

Fig. 61.



Einfacher und für die Zwecke der Untersuchung ausreichend sind jene Apparate, welche zur Erzeugung sogenannter subjectiver Spectra dienen. Dieselben sind zur Zerlegung von gutem, diffusem Tageslicht bestimmt und sind desshalb leichter verwerthbar als die Instrumente, die zur Zerlegung des Sonnenlichtes dienen. Man unterscheidet Apparate à vision directe und à vision indirecte. Die letzteren bestehen aus einem oder mehreren auf einem Stativ angebrachten Zerlegungsprismen und aus zwei Röhren, von welchen die eine das Licht durch

einen schmalen Spalt hindurchlässt und gegen das Prisma leitet, während durch die andere das Spectrum beobachtet wird. Die Röhren müssen desshalb in einem Winkel zu einander stehen. Die Instrumente à vision directe bestehen aus einfachen Metallröhren, an deren einem Ende Gravesand'sche Schneiden sich befinden, das sind scharfrandige Spalten, welche durch einen Trieb, der mit den Metallplatten in Verbindung steht, enger oder weiter gestellt werden können. In der Röhre befindet sich vor der Spalte das Zerlegungsprisma und vor demselben ein Apparat, mittelst dessen ein Theil des zerlegten Lichtes allein durch einen verschiebbaren Spalt in das Auge des Beobachters dringt.

Solche Spectroskope sind entweder portativ oder werden bei der Beobachtung mit der Hand gehalten, oder sie sind an einem Stative angebracht.

Bei der Untersuchung mittelst Spectralfarben ist zuerst zu constatiren, ob alle Farben des Spectrums wahrgenommen werden oder ob dasselbe aus einer geringeren Anzahl von Farben, als normalerweise, besteht. Wir haben schon erwähnt, dass die Roth-Grünblinden ein Spectrum haben, welches nur aus zwei Farben besteht und dessen erste Hälfte gelb und dessen zweite blau ist. Wenn auch diese Farbennuancen nicht genannt werden, so genügt die Behauptung, dass das Spectrum aus zwei Farben bestehe, um einen partiell Farbenblinden zu charakterisiren. Zum Ueberfluss kann man die Farben, die ein solcher Untersuchter wahrnimmt, in farbigen Wollbündeln oder mit anderen Pigmenten nachbilden lassen, um sich objectiv von dem Fehlen gewisser Theile des Spectrums zu überzeugen.

Zuweilen zeigt sich das Spectrum auf der einen oder anderen Seite etwas verkürzt, wobei diese Enden schwarz erscheinen.

Ein scharfsinnig erdachtes, aber kostbares Instrument liess Hirschberg construiren, bei welchem zwei über einander stehende Spectra in umgekehrter Ordnung der Farben erscheinen, welche gegen einander verschoben werden können, so dass eine Vergleichung beider Spectra möglich ist. Die einzelnen Farben können dabei durch Spalte isolirt werden. Farbenblinde werden selbstverständlich ebenso häufig die Verwechslungsfarben als die zur Probe gegebene auf einander stellen.

Schliesslich muss noch einer sehr wichtigen Verwendung des Spectroskopes Erwähnung geschehen, indem durch dasselbe Spectra verschiedener Metallsalze bei ihrer Verbrennung beobachtet werden können und das Urtheil des Farbenblinden über das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein solcher farbiger Linien aufgerufen werden kann.

Diese zuerst von Stilling vorgeschlagene Methode hat nebst anderen auch den Vorzug vor der Untersuchung mit ganzen Spectren, dass man sich der einfachsten und wohlfeilsten Spectroskope dabei bedienen kann. Zur Verbrennung der Metallsalze benutzt man eine Weingeist- oder eine nichtleuchtende Glasflamme, welche kein Spectrum geben. Die Verbrennung geschieht auf einem Platinplättchen oder auf dem Oer eines Platindrahtes. Die Farben der entstehenden Linien lässt man entweder benennen, oder besser dieselben durch Stickwollsträhne nachbilden, oder man lässt den Ort im Spectrum bezeichnen, an welchem diese Linie dem zu Untersuchenden erscheint. Es ist zu diesem Zwecke vortheilhaft, in dem Instrumente selbst eine graduirte

Scala anzubringen, mittelst welcher man den Ort im Spectrum bezeichnen kann. Die Frauenhofer'schen Linien, die auch diesem Zwecke dienen könnten, sind ein weniger zuverlässiger Maassstab, um sich im Spectrum orientiren zu können, einestheils desshalb, weil zu ihrem Erkennen grosse Uebung erforderlich ist, andererseits aus dem Grunde, dass dieselben in der zweiten Hälfte des Spectrums zu weit aus einander stehen. Die zu benützenden Metalle und ihre Spectra wollen wir nach v. Reuss hier anführen.

Natrium gibt eine einzige gelbe Linie, die genau mit der Frauenhofer'schen Linie D zusammenfällt. Um die Linie zu erhalten, braucht man kein Chlornatrium in die Flamme zu bringen, indem das in der Luft befindliche Natrium genügt, beim Verbrennen durch die Weingeist- oder Gasflamme die Linie zu erzeugen. Die beständige Gegenwart dieser Linie ist jedoch kein Nachtheil, indem dieselbe zum Vergleich mit anderen metallischen Linien und zur Orientirung dienen kann.

Lithium gibt eine schwache, in kleinen Instrumenten nicht sichtbare, gelbe Linie links von der Linie D, und eine sehr starke rothe, gegen das rothe Ende des Spectrums, ungefähr der Linie B entsprechend. Man braucht zur Erzeugung dieser rothen Linie eine so geringe Menge des Metallsalzes, dass es nothwendig ist, für die Verbrennung des Chlorlithiums eine eigene Weingeistflamme zu benutzen, weil sonst die Linie auch bei anderen Proben erscheinen würde.

Thallium. Man benutzt hiezu eine Chlorverbindung. Es erzeugt eine sehr schöne, grüne Linie, links von der Frauenhofer'schen Linie E. Man muss grössere Mengen des Salzes verbrennen lassen.

Dies sind die drei wichtigsten Linien bei Untersuchung der Roth-Grünblindheit. Ausserdem benutzt man:

Calcium mit zwei Linien, einer im Orange und einer im Grün.

Kalium mit einer minder wichtigen violetten und einer rothen, der Linie A entsprechenden, sehr wichtigen Linie.

Strontium mit sieben nicht verwendbaren rothen und gelben Linien und einer schönen blauen Linie, welche nahe hinter der Linie F liegt.

Indium erzeugt eine blaue Linie, rechts von der Strontiumlinie.

Cäsium hat zwei blaue Linien zwischen diesen beiden letzteren.

Rubidium mit vornehmlich zwei violetten Linien am äussersten rechten Ende des Spectrums.

Kupfersalze, deren Spectrum sehr complicirt ist, besitzen überaus prächtige, violette Linien.

Farbenblinde sehen selbstverständlich gewisse von diesen Linien nicht farbig, sondern sie erscheinen ihnen grau. Namentlich geschieht das bei den Roth-Grünblinden, welche die rothen und grünen Metallbänder für Grau halten.

Die Untersuchung mittelst Spectralanalyse ist sehr zuverlässig, aber zeitraubend, eignet sich desshalb nicht zu Massenuntersuchungen, wie sie in neuerer Zeit vorgenommen werden, sondern nur als Controlprobe.

An die Untersuchung mit Spectralfarben schliesst sich die Untersuchung mit dem Farbenmesser von Rose an. Derselbe besteht aus der Röhre eines Mikroskopes, aus welcher man die Linsen heraus-

genommen hat. An beiden Enden der Röhre wird je ein Nicol, dessen Axe mit der der Röhre verläuft, angebracht. Die Stellung der um die verticale Axe drehbaren Nicols wird durch einen auf einer Graduirung verschiebbaren Index angezeigt. Mit dem oberen Nicol in derselben Hülse vereinigt ist eine Bergkrystallplatte und zwischen dieser und dem unteren Nicol ein doppelt brechendes Prisma eingefügt. Der Gang der Untersuchung ist nun folgender: Das Licht dringt von dem Spiegel des Mikroskopes in das untere Nicol ein, wird von diesem polarisirt, gelangt dann zum doppelt brechenden Prisma, welches den polarisirten Strahl in zwei auf einander senkrecht polarisirte theilt, welche, durch die Bergkrystallplatte betrachtet, farbig erscheinen, und zwar so, dass die beiden Bilder eines zwischen dem unteren Nicol und dem Prisma angebrachten runden Diaphragmas zu einander complementär gefärbt erscheinen. Dreht man nun das obere Nicol mit der Bergkrystallplatte, so wechseln die Farben, bleiben jedoch immer complementär zu einander, bis bei einer Drehung um 90^0 die Färbung der beiden Bilder eine umgekehrte wird. Die Intensität der Färbung wird durch Drehung des unteren Nicols bewirkt. Bei einer bestimmten Stellung des Nicols ist das eine Bild des Diaphragmas verschwunden, während das andere im Höhepunkt seiner Helligkeit steht. Dreht man um 90^0, so wird das helle Bild immer dunkler, das dunkle immer heller, bis am Ende der Drehung die Lichtintensität sich gerade umgekehrt verhält wie früher. Der Apparat wird derartig benutzt, dass so lange am oberen Nicol gedreht wird, bis zwei zu einander complementäre Farben erscheinen, die von dem farbenblinden Untersuchten für gleich gehalten werden, wobei die Angaben desselben durch das gesunde Auge des Untersuchers controlirt werden können, und dies um so leichter, als in jedem Quadranten der Drehung dieselben Complementärfarben einmal wiederkehren.

Diese Probe ist desshalb besonders werthvoll, weil sie das später zu beschreibende Princip der Verwechslungsfarben nicht durch Pigmente, sondern durch Spectral- und Interferenzfarben ausführt. Aber auch diese ist abgesehen von der Kostbarkeit des Instrumentes zu Massenuntersuchungen wenig geeignet, weil sie von dem zu Untersuchenden einen gewissen Grad von Intelligenz fordert und wegen der beständigen Controle durch den Untersucher zeitraubend wird.

B. Simultancontrast.

Indem wir die Versuche mit complementär gefärbten Nachbildern als wenig gebräuchlich übergehen, wenden wir uns dem Simultancontraste zu, welcher zu verschiedenen Proben benutzt worden ist.

Die wichtigste derselben ist die von Stilling eingeführte.

Wenn eine Fläche von zwei complementär gefärbten Lichtern beleuchtet ist und man lässt den Schatten eines dichten Körpers auf eine solche Fläche fallen, so erscheint dieser doppelt und die beiden Schatten sind zu einander complementär gefärbt.

Lässt man z. B. seinen eigenen Schatten auf eine Schneefläche fallen, welche gleichzeitig vom Monde und einer Gasflamme beleuchtet ist, so entstehen zwei Schatten, von welchen der vom Monde entworfene gelb und der von der Gasflamme entworfene blau erscheint, weil der

erstere nur vom gelben Lichte der Gasflamme, letzterer nur vom blauen Lichte des Mondes beleuchtet ist.

Die complementär gefärbten Schatten entstehen aber auch, wenn eine der beiden Leuchtquellen weiss ist oder wenigstens die Fläche viel weisses Licht zurückwirft.

Stilling bedient sich dieser optischen Eigenschaft unserer Netzhaut, indem er das Licht einer hell brennenden Leuchtquelle durch farbige Gläser gefärbt auf eine lichte Fläche fallen lässt und einen schmalen Schatten gebenden Körper vor letzterer anbringt. Der Schatten erscheint dann immer complementär zur inducirenden Farbe des Glases gefärbt. Der Schatten ist bei rothem Glase bläulich-grün, weil dasselbe ein gelbes Licht durchlässt, bei grünem purpurroth, zuweilen gelbroth oder violett, je nachdem das Glas auch blaue oder gelbe Strahlen durchlässt, bei gelbem blau, wenn Tageslicht auf die weisse Fläche fällt, und bei blauem schwefelgelb, weil blaues Glas auch rothe Strahlen durchlässt.

In seiner ersten Publication benutzte Stilling die Probe derart, dass er die Farbennamen bei der Untersuchung nennen liess. Nachdem ihm aber entgegengehalten wurde, was überhaupt gegen die Nennung von Farbennamen bei der Untersuchung der Farbenempfindung eingewendet wird, so begnügte er sich damit, die zu Untersuchenden bestimmen zu lassen, ob sie den Schatten farbig sehen oder nicht; denn wenn ersteres der Fall ist, so kann dies nur die zur inducirenden Farbe complementäre und muss der Betreffende für die Farbe des Glases empfindlich sein. Erscheint aber der Schatten farblos, so sollte der zu Untersuchende für die inducirende Farbe blind sein. Die Probe würde, in dieser Weise angestellt, correct sein, wenn die inducirende Farbe eine gesättigte Spectralfarbe wäre, indem dann die Farbe des Schattens sicher nur die zu einer solchen complementäre sein könnte. Die verwendeten Gläser lassen aber alle noch Licht von anderem Brechwerthe durch, so dass der Schatten auch den Farbenblinden farbig erscheinen könnte, und dann der Schluss, dass er für die Hauptfarbe des Glases empfänglich sei, ein falscher wäre.

Die nothwendigen Bestandtheile des Stilling'schen Versuches wurden zu verschiedenen Apparaten zusammengefügt, von welchen ich nur das von mir angegebene, vom hiesigen Optiker Waldstein ausgeführte Chromatoskop nennen will. Dasselbe besteht aus zwei durch ein Brett mit einander verbundenen Holzrahmen; in dem vorderen wird das farbige Glas, in dem hinteren ein weisser Pappschirm eingelassen. Auf dem Verbindungsbrettchen kann ein Holzstab in einer Rinne gegen den Schirm hin verschoben werden, was beim Versuche gewöhnlich bis in die nächste Nähe des Schirmes geschieht, weil dann die Complementärfarbe am intensivsten ist. Die Leuchtquelle muss eine hell brennende Petroleum- oder Gasflamme sein. Die zweite Lichtquelle ist entweder der Reflex von der ersten, die auf den Schirm geworfen wird, oder diffuses Tageslicht.

Ich mache die Probe derartig, dass ich die Farbe des Schattens durch farbige Wollbündel nachlegen lasse, ähnlich, wie wir dies bei der Holmgren'schen Probe kennen lernen werden. Wer zum grünen Schatten gelbe, graue oder rothe Wolle, zum purpurnen blaue, grüne oder graue hinzulegt, ist roth-grünblind.

Wer zum gelben Schatten Lichtgrün, Grau oder Blau und zum

blauen Schatten Dunkelgrün, Dunkelgelb oder Dunkelviolett hinzufügt, ist blau-gelbblind.

Ich halte diese Probe desshalb für wichtig, weil die dem zu Prüfenden vorliegende Probefarbe eine durch eine physiologische Function des nervösen Sehapparates erzeugte ist.

Eine zweite Probe, die auf dem Simultancontrast beruht, ist die Florpapierprobe von H. Meyer. Wenn man auf einem farbigen Grund schwarze, graue oder weisse Papierstücke anbringt, so erscheinen diese durch Contrast complementär gefärbt. Lebhafter tritt dieser Contrast auf, wenn man die Papierstücke aus schwarzem oder dunkelgrauem Papier wählt und das Ganze mit einem dünnen (Flor-)Papier bedeckt. Dieselben erscheinen dann sehr lebhaft zur Farbe des Grundes complementär gefärbt. Der zu Untersuchende muss entweder die Farbe nennen oder Wollproben aussuchen, die ihm von derselben Farbe zu sein scheinen.

Auf demselben Principe beruhen die Tafeln von Pflüger, welche aus farbigen Blättern bestehen, auf welchen Buchstaben und Ziffern in einem dunkleren Grau, als es der Grund ist, gezeichnet sind, und welche mit einem, zwei oder drei Blättern von Florpapier bedeckt werden können. Jemand, der für die Farbe des Grundes unempfindlich ist, welche er demnach mit Grau verwechselt, soll die grauen Buchstaben und Ziffern nicht zu lesen imstande sein, wenn sie mit einem oder mehreren Blättern des Florpapiers bedeckt sind. Diese Probe ist aus mehrfachen Gründen unsicher, weil die Pigmentfarben, welche den Grund ausmachen, nicht so rein sind wie Spectralfarben und neben der Hauptfarbe noch verschiedene andere Sorten von Licht reflectiren, was zur Folge hat, dass die grauen Zeichen zu letzterem complementär erscheinen können; ferner desshalb, weil bei einigen der Proben die Färbung des Grundes durch das Verdecken mit zwei oder drei Florpapieren so matt wird, dass auch ein farbentüchtiges Auge die Buchstaben nicht zu erkennen vermag.

Die dritte auf dem Simultancontrast beruhende Methode gründet sich auf den Versuch von Ragona Scina. Wenn man zwei Blätter weissen Papiers, das eine horizontal, auf einen Tisch legt, das andere senkrecht darauf anbringt und ein gefärbtes Glas unter 45° zu je einer Papierfläche aufstellt und zwei Stücke schwarzen Sammtes derartig auf je eine Papierfläche aufklebt, dass ein von oben her auf das farbige Glas schauendes Auge das eine Sammetstückchen im durchfallenden, das andere daneben im reflectirten Lichte sieht, so erscheint ersteres in der Farbe des Glases, letzteres in der zu ihr complementären. Der Grund hiefür ist folgender: Das auf der horizontalen Papierfläche befindliche Sammetstückchen erscheint so gefärbt wie das Glas, weil wir dasselbe im durchfallenden Lichte sehen, das auf der senkrechten Papierfläche sich befindende Sammetstückchen aber reflectirt von der Vorderfläche des Glases, welche nur weisses Licht zurückwirft, und allerdings auch von den tieferen Schichten des Glases, wodurch das Licht leicht gefärbt erscheint. Trotz dieser leichten Färbung aber erscheint dieses Bild complementär zur Farbe des Glases.

Es lässt sich an dieser Probe ungefähr dasselbe aussetzen, wie an den anderen auf Contrast beruhenden, dass nämlich die inducirende Farbe des Glases nicht rein, sondern mit anderen Strahlenarten gemengt ist, wodurch das Resultat der Probe getrübt werden kann.

C. Untersuchung mit Pigmentfarben.

Bei der Prüfung der Farbenempfindung mittelst Pigmentfarben muss man sich gegenwärtig halten, was theilweise schon für die Prüfung mittelst Simultancontrast gilt, dass dieselben nämlich nur solches Licht durchlassen und reflectiren, welches nicht von ihnen absorbirt worden ist, und da die Absorption meistentheils keine so vollständige ist, dass nur eine Strahlenart übrig bleibt, so haben wir es gewöhnlich wenig mit gesättigten, sondern hauptsächlich mit gemischten Farben zu thun. Es wird also auch bei jenen Proben, welche auf Mischung von Pigmentfarben beruhen, auf diese Thatsache Rücksicht zu nehmen sein.

Die hervorragendste der Methoden, bei welchen die Pigmentfarben in Anwendung kommen, ist die von Maxwell angegebene, weil sie für die Lösung wissenschaftlicher, die Farbenempfindung betreffender Fragen die wichtigsten Aufschlüsse gegeben hat. Sie beruht darauf, dass auf einer rotirenden Scheibe farbige Flächen in einem solchen Verhältnisse aufgetragen werden, dass der gemischte Eindruck derselben die Empfindungen einer dritten Farbe hervorruft. Die Scheibe ist derartig eingerichtet, dass die zu mischenden Farben einerseits an ihrer Peripherie in Form eines Ringes, andererseits auf der centralen Scheibe angebracht werden. Der Versuch wird in der Weise ausgeführt, dass auf dem peripheren Ringe Schwarz und Weiss nach einem bestimmten Verhältnisse vertheilt werden, um ein Grau von bestimmter Helligkeit zu geben, und dass auf der centralen Scheibe Farben in einem solchen Verhältnisse gemischt werden, dass beim Rotiren die innere Scheibe die Empfindung desselben Grau hervorruft. Die Werthe der Winkel, welche die einzelnen farbigen Sectoren am Rande und in der Mitte einnehmen, werden einander gleichgesetzt und bilden die Farbengleichung. Solcher Farbengleichungen können unendlich viele aufgestellt werden. Wir wollen als Beispiele einige von Aubert gefundene Gleichungen hieher setzen, welche mit den von Helmholtz gefundenen complementären Farben, die mit einander Weiss oder Grau geben, sich in guter Uebereinstimmung befinden.

165° Roth + 73° Blau + 122° Grün = 100° Weiss + 260° Schwarz
(Roth und Blaugrün, Helmholtz),
111° Orange + 117° Blau + 132° Grün = 134° Weiss + 226° Schwarz
(Orange und Cyanblau, Helmholtz),
17° Gelb + 140° Grün + 302° Fuchsin = 150° Weiss + 210° Schwarz
(Gelb und Indigblau, Helmholtz),
146° Gelb + 197° Blau + 17° Grün = 159° Weiss + 201° Schwarz
(Grüngelb und Violett, Helmholtz).

Bei Roth-Grünblinden, welche im Spectrum nur zwei Farben sehen (Gelb und Blau), lassen sich alle möglichen Farbengleichungen mit diesen letzteren zwei Farben und Weiss und Schwarz mischen. Schon Helmholtz hatte gefunden, dass bei Rothblinden alle Farbentöne, die sie noch besitzen, aus Gelb und Blau in Verbindung mit Weiss und Schwarz gemischt werden können. So fand der roth-grünblinde Dr. Hochecker für seine Augen die folgenden Farbengleichungen:

129° Gelb + 231° Blau = 129° Weiss + 231° Schwarz,
212° Gelb + 148° Blau = 315° Grün + 45° Schwarz,
100° Blau + 260° Schwarz = 360° Purpur,

230° Orange + 130° Blau = 155° Weiss + 205° Schwarz,
108° Gelb*) + 252° Schwarz = 360° Roth (Zinnober).

Die Erscheinungen am Farbenkreisel lassen sich nach der Theorie der Gegenfarben in einfachster Weise aufklären. In der erst angeführten Gleichung ist der grösste Sector Roth, welcher zum Theil von dem beigemischten Grün ausgelöscht wird, der kleine Sector Blau (73°) hebt das in Roth enthaltene Gelb auf, so dass nur die schwarz-weisse Valenz dieser Farben übrig bleibt. In der zweiten Gleichung ist der grösste Sector Grün, welchem aber offenbar Gelb beigemischt sein muss, um den Ueberschuss des blauen Sectors aufzuheben. In der dritten Gleichung ist der grösste Sector das Fuchsin, welches genügend Blau enthält, um das Gelb auszulöschen, und genügend Roth, um das Grün zu paralysiren. In der vierten Gleichung ist Blau im Ueberschuss vorhanden, aber gewiss auch noch so viel Roth, um den kleinen Sector Grün (17°) zu verlöschen. Auch die von Hochecker gefundenen Gleichungen lassen sich nach der Hering'schen Theorie erklären. In der ersten Gleichung heben Gelb und Blau einander auf, und die übrig bleibende weisse Valenz muss etwas bläulich sein, weil Blau im Ueberschusse ist, was Hochecker allerdings nicht angibt. In der zweiten Gleichung wird wieder Blau durch Gelb verlöscht, und es bleibt ein gelbliches Grau, für welches auch das dunkle Grün auf der rechten Seite der Gleichung gehalten wird. Die dritte Gleichung zeigt auf der linken Seite ein dunkles Blau, welchem der Purpur auf der rechten Seite für Hochecker gleich ist, weil die rothe Valenz fehlt. In der vierten Gleichung heben sich Orange und Blau theilweise auf und es müsste ein gelbröthliches Grau zurückbleiben, wovon Hochecker jedoch keine Erwähnung macht. In der fünften Gleichung ist links Dunkelbraun, für welches das Roth auf der rechten Seite gehalten wird, weil die rothe Valenz fehlt, und nur die gelbe und schwarz-weisse Valenz übrig geblieben ist.

Die Versuche mit dem Farbenkreisel sind sicherlich in Bezug auf die wissenschaftliche Seite der Farbenuntersuchung, soweit sie durch Pigmentfarben ausgeführt werden kann, die einzigen, die wir besitzen, und doch eignen sie sich für jene Zwecke nicht, zu deren Gunsten in neuerer Zeit die ganze Frage von der Farbenempfindung in lebhafte Erörterung gezogen wurde. Es sind dies Massenuntersuchungen, welche behufs Eruirung von Farbenblinden unter den Eisenbahnbediensteten in allen civilisirten Staaten gepflogen wurden. Eben wegen der Menge der zu untersuchenden Personen, aber auch wegen der Unmöglichkeit, alle diese von in der Farbenlehre geübten Aerzten untersuchen zu lassen, musste eine Methode ersonnen werden, welche sicher, rasch und ohne Voraussetzung besonderer Kenntnisse von Seite des Untersuchers die Farbenblindheit zu eruiren zuliess. Alle diese Eigenschaften vereinigt die von Frithiof Holmgren modificirte Methode von Seebeck; aber sie leistet noch mehr, indem es durch sie möglich ist, die Proben in Gegenwart aller zu Untersuchenden vornehmen zu lassen, ohne dass zu befürchten wäre, dass durch dieses Zusehen oder durch Besprechung der zu Untersuchenden unter einander eine Täuschung in Bezug auf das Resultat der Untersuchung entstehen könnte.

Während Seebeck die sogenannte Wollenprobe derart ausführte,

*) Bei Hochecker steht fälschlich 8° Gelb.

dass er die zu Untersuchenden alle in einem Sortiment von Stickwollbündeln befindlichen Farben der Aehnlichkeit nach sortiren liess und dadurch die Probe langwierig und unsicher machte, lässt Holmgren zu bestimmten Farbenproben, von welchen man weiss, dass sie von den Farbenblinden der verschiedenen Kategorien nicht erkannt oder mit anderen verwechselt werden, ähnliche Bündel zusammensuchen und schliesst aus den eventuell dazugelegten Verwechslungsfarben auf die Art der Farbenblindheit.

Diese Probefarben sind: Lichtgrün, mittlerer Purpur und Scharlachroth. Holmgren steht noch auf der Basis der Helmholtz'schen Theorie und theilt die partielle Farbenblindheit in Rothblindheit, Grünblindheit und Violettblindheit ein. Die genannten Probefarben beziehen sich jedoch nur auf Roth- und Grünblindheit. Es werden folgende Proben angestellt:

1. Probe. Wer zu Lichtgrün Graugelb, Fleischfarben etc. hinzulegt, ist farbenblind.

2. Probe. Wer von den letzteren zu Purpur
   a) Dunkelblau oder Violett legt, ist rothblind;
   b) Grau oder Blaugrün heraussucht, ist grünblind.

3. Probe (Controlprobe). Wer zu Scharlachroth hinzulegt:
   a) Dunkelbraun oder Dunkelgrün, ist rothblind;
   b) Lichtbraun oder Gelbgrün, ist grünblind.

Aber auch bei Annahme der Theorie von den Gegenfarben hat die Probe ihre volle Gültigkeit. Man braucht nur die von Holmgren für rothblind bezeichneten als solche Roth-Grünblinde, deren Spectrum auf der linken Seite verkürzt, und die Grünblinden Holmgren's als Roth-Grünblinde mit normal grossem Spectrum und normaler Lichtintensität anzusehen.

Eine Folge der Holmgren'schen Methode war die Erfindung der sogenannten pseudo-isochromatischen Proben. Dieselben beruhen darauf, dass der Farbenblinde gewisse Töne mit einander verwechselt, und diese Verwechslung ist um so sicherer, je weniger gesättigt die Töne und je lichter die Nuancen derselben sind.

So hat Stilling Tafeln verfertigt, auf welchen die von Farbenblinden verwechselten Töne derartig angebracht sind, dass sowohl die Grundfarben als auch die Verwechslungsfarbe auf kleinen Quadraten so vertheilt sind, dass die letzteren auf dem Grunde der ersteren Buchstaben bilden, welche von einem farbentüchtigen Auge gelesen werden, während dem Farbenverwechsler die Tafel ganz gleich gefärbt erscheint.

Auf demselben Principe beruhen die von Daae hergestellten Stickwolltäfelchen, welche jüngstens von v. Reuss verbessert worden sind.

Auf einem anderen Wege suchte Donders ein Maass für das Farbenunterscheidungsvermögen zu gewinnen. Er untersuchte nämlich, in welcher Entfernung ein farbiges Quadrat von 1 mm Seite auf schwarzem Sammet in seiner Farbe erkannt werden könne. Es fand sich, dass das Farbenunterscheidungsvermögen K verkehrt proportionirt sei der Grösse des Farbenquadrates und ebenso verkehrt proportionirt der Lichtmenge, also proportional dem Quadrate der Entfernung, in welcher eine bestimmte Farbe erkannt wird. Ist also d die Entfernung, in welcher dasselbe Quadrat von einem farbentüchtigen Auge erkannt werden soll,

und D die Entfernung, in welcher ein zu prüfendes Auge dasselbe erkennt, dann ist

$$K = \frac{1}{m^2} \cdot \frac{d^2}{D^2}.$$

Dieser Ausdruck ist aber nur ein solcher für die Quantität des Farbenempfindungsvermögens, er eignet sich aber selbstverständlich nicht dazu, die qualitativen Fehler des Farbenempfindungsvermögens zu ergründen. Es kann demnach durch diese Methode die von Holmgren als Abart der Farbenblindheit mit dem Ausdrucke „schwacher Farbensinn" belegte Anomalie durch einen mathematischen Ausdruck näher definirt werden.

§ 63. In Bezug auf die Häufigkeit der Farbenblindheit zeigt die folgende Tabelle ziemlich differirende Angaben. Jedoch wird man gut thun, die Mittelzahlen derselben als der Wahrheit am nächsten kommend anzusehen. Selbstverständlich werden jene Angaben, welche aus einem grossen Materiale gewonnen worden sind, die grössere Zuverlässigkeit beanspruchen können, so z. B. die von Holmgren veröffentlichten, in Schweden vorgenommenen Untersuchungen von 39,284 Personen. Die folgende Scala ist nach steigendem Procentsatze geordnet. Es fanden

a) bei Männern:

Lederer in Pola	1·14 %
Hansen in Kopenhagen unter 1048 Eisenbahnbediensteten (darunter 50 Frauen)	2·87 %
v. Reuss in Wien unter 593 Personen	3·2 %
Holmgren in Upsala unter 32,165 Männern	3.25 %
Magnus in Breslau unter 3273 Knaben	3.27 %
Cohn in Breslau unter 2429 Knaben	4 %
Jeffryes in Boston	45 %
Dor in Bern unter 860 Personen	4·65 %
Daae in Norwegen unter 205 Knaben	4·88 %
Krolno in Finnland	5 %
Stilling in Cassel	5 %
Wilson in Edinburgh unter 1154 Personen	56 %
Donders in Utrecht	6·6 %
Féris in Frankreich unter 501 Marinesoldaten	8.18 %
Favre in Lyon (1864—1872) unter 1196 Personen	1·17 %
„ „ „ (1872—1873) „ 728 „	5·76 %
„ „ „ (1873—1875) „ 1050 „	9·33 %

b) bei Frauen:

Hansen in Kopenhagen 50 Bahnbeamtinnen	0 %
Jeffryes in Boston 1025 Mädchen	0 %
Cohn in Breslau 1061 Mädchen	0 %
Daae in Norwegen 208 Mädchen	0 %
Holmgren in Upsala 7119 Weiber	0·26 %
Magnus in Breslau 2261 Mädchen	0·4 %
Dor in Bern 611 Mädchen	0.82 %

Wir werden demnach gut thun, anzunehmen, dass die Farbenblindheit unter der männlichen Bevölkerung etwa 3 %, unter der weiblichen

nur wenige Zehntel Procent betrage. Die Ursache dieser Verschiedenheit im Procentsatze dürfte wohl in der grösseren Uebung, welche Frauen in der Unterscheidung von Farben bei ihren verschiedenen Beschäftigungen zu haben pflegen, und welche vielleicht durch eine hereditäre Anlage, die sich nur im weiblichen Geschlechte forterbt, unterstützt wird, gelegen sein.

Diesem Gedanken ganz entsprechend, machte Magnus den Vorschlag, die männlichen Schüler der Volksschulen in Bezug auf ihren Farbensinn systematisch auszubilden, um auch im männlichen Geschlechte nach einer Reihe von Generationen die angeborene Farbenblindheit zu verringern resp. vollständig auszumerzen.

In Bezug auf die Vererbung wurde noch die Beobachtung gemacht, dass häufig der männliche Enkel von dem Grossvater mütterlicher Seite mit Ueberspringen der Mutter die Farbenblindheit ererbt.

Wir haben schon früher erwähnt, dass nur an der Macula lutea und in ihrer nächsten Umgebung eine vollkommen normale Farbenempfindung besteht, dass sich dieselbe gegen die Peripherie des Gesichtsfeldes verringert, ja an den Grenzen desselben vollkommen verschwindet, und dass die Grenze, innerhalb welcher die Farben richtig erkannt werden, für jede einzelne eine verschiedene sei. Oberflächlich genommen, kann man die Sache so darstellen, dass in der äussersten Peripherie totale Farbenblindheit besteht, während eine mittlere Zone Roth-Grünblindheit, die engste Grünblindheit allein darbietet.

In der That wird Roth etwas weiter hinaus als Grün erkannt, und diese Trennung, welche, wie wir sehen werden, nur eine scheinbare ist, könnte eine Stütze für die Helmholtz'sche Theorie abgeben, wenn nicht in der „rothblinden" Zone Grün und Roth gleichmässig für Gelb gehalten würden. Es wurde schon erwähnt, dass auch in der Gesichtsfeldsperipherie alle Farben bis an die äusserste Grenze richtig erkannt werden, nur müssen sie in gehörig grossen Flächen und in recht heller Beleuchtung dem Auge dargeboten werden.

Es besteht demnach kein qualitativer, sondern nur ein gradueller Unterschied in der Farbenempfindung des Centrums und der Peripherie der Netzhaut, und man kann desshalb weder von einer rothblinden noch von einer anderen farbenblinden Zone der Netzhaut sprechen.

Wir können demnach der Netzhautperipherie nur einen „schwachen Farbensinn", wie ihn nach Holmgren auch viele Personen im Centrum der Netzhaut besitzen sollen, zuerkennen.

---

8. Capitel.

Die Untersuchung des Lichtsinnes.

§ 64. Wir haben in der Einleitung gesehen, dass wir als kleinstes Maass für die Sehschärfe bei der Untersuchung mit Snellen'schen Probebuchstaben einen Gesichtswinkel von 5′ vorgefunden haben. Dabei wurde vorausgesetzt, dass die Untersuchung bei gutem Tageslichte vorgenommen werde. Denn es ist selbstverständlich, dass die Sehschärfe bei Veränderung der Beleuchtung sich verändern werde. Doch ist die

Grösse des noch Wahrnehmungen vermittelnden Gesichtswinkels nur dann der Beleuchtung, und zwar umgekehrt, proportional, wenn diese von mässigem Grade ist. Nur bei übergrosser Beleuchtung hört dieses Verhältniss ebenso wie bei minimaler auf. Dies Alles gilt für den Fall, als der Lichtsinn der Netzhaut in normalem Grade vorhanden ist, und gestaltet sich völlig anders, wenn dieser eine namentliche Herabsetzung zeigt.

Die einschlägigen Verhältnisse der Netzhautperception sind demnach von drei Seiten zu betrachten.

1. Einfluss der Beleuchtung auf den Raumsinn (Sehschärfe) bei normalem Lichtsinne.

2. Vergleichung des normalen und krankhaft herabgesetzten Lichtsinnes der Netzhaut.

3. Einfluss des herabgesetzten Lichtsinnes auf den Formsinn (Sehschärfe).

Wir haben schon anfangs erwähnt, dass bei Voraussetzung eines normalen Lichtsinnes der Netzhaut und bei mässiger und gleichmässiger Beleuchtung die Gesichtswinkel der kleinsten, noch wahrnehmbaren Objecte umgekehrt der Belichtung proportional sind. Man kann diesen Einfluss der Beleuchtung auf den Formsinn in zweifacher Weise eruiren, indem man a) alle Sehschärfenbestimmungen bei ein und derselben Beleuchtung vornimmt, welche also direct mit einander vergleichbar sind, oder b) bei wechselnder Beleuchtung prüft, dabei aber den Grad dieser Beleuchtung genau bestimmt und in Rechnung bringt. Auf dem ersteren Principe beruhen die sogenannten Photometer von Förster, v. Hippel und Adolf Weber.

Es kann jedoch durch diese Methoden nicht nur die Sehschärfe bei gleichbleibender Beleuchtung, sondern auch bei herabgesetzter und verstärkter Beleuchtung eruirt werden, so dass sie gleichzeitig zu beiden Untersuchungsarten benutzt werden können. Sie enthalten auch Apparate, um die Veränderung der Beleuchtung messen zu können.

Soll aber bei Tageslicht untersucht werden, welches, wie wir wissen, sehr inconstant ist, so müssen wir die Helligkeit desselben auf photometrischem Wege zu bestimmen suchen.

Unter den photometrischen Methoden wollen wir nur diejenigen berühren, bei welchen die Empfindlichkeit des Auges den Maassstab für die Lichtstärke abgibt. Hiebei muss hervorgehoben werden, dass das Auge nur die Unterschiede in der Helligkeit gleichgefärbter Lichter vergleichen kann.

Die gebräuchlichsten Photometer beruhen auf der Vergleichung der Helligkeit zweier Schatten.

Wenn man von zwei Lichtern, einem von bekannter Intensität und einem, dessen Intensitätsgrad gesucht wird, die Schatten eines Stabes auf einer lichten Wand entwerfen lässt, so kann man dadurch, dass man das Normallicht näher oder weiter schiebt, die beiden Schatten gleich lichtstark machen.

Da nun die Intensität $= I$ sich umgekehrt verhält, wie das Quadrat der Entfernungen, so können wir $I_, =$ die zu eruirende Lichtintensität finden durch die Gleichung

$$\frac{I_,}{I} = \frac{d_,^2}{d^2},$$

wobei $d_,$ die Entfernung der unbekannten Lichtquelle vom Schatten und d die Entfernung des bekannten Lichtes von demselben bedeutet. Setzen wir $I = 1$, so ist $I_, = \frac{d_,^2}{d^2}$.

Auf einem ähnlichen Principe beruht das Photometer von Ritchie. Dasselbe besteht aus einem länglichen, innen und aussen geschwärzten Kasten, welcher in der Mitte seiner oberen Wand eine Oeffnung zum Hineinsehen hat, an dieser Stelle ist ein rechtwinkeliges Prisma mit der rechtwinkeligen Kante nach oben angebracht, dessen beide Kathetenflächen mit weissem Papiere überzogen sind. Von beiden Seiten des Kastens fällt Licht ein, so dass die genannten Flächen beleuchtet sind auf der einen Seite von Licht von bekannter, auf der anderen von unbekannter Stärke. Wenn man von oben auf die Kathetenflächen hinabsieht, so kann man durch Verschiebung der bekannten Lichtquelle die Beleuchtung an beiden Flächen ganz gleich machen und aus den bekannten Entfernungen der Lichter und der Lichtstärke des bekannten Lichtes die Intensität des unbekannten berechnen.

Das Photometer von Bunsen besteht aus einem Papierschirme, in dessen Mitte ein Fettfleck angebracht ist, und welcher senkrecht auf einer Eintheilung steht. Wird ein solcher Schirm von hinten beleuchtet und von vorne angesehen, so erscheint der Fettfleck hell auf dunklem Grunde, wird er aber von vorne beleuchtet, so erscheint er dunkel auf hellem Grunde, beides um so mehr, je heller die Beleuchtung ist. Wird nun der Schirm von hinten her von einem constanten, in einem Kasten eingeschlossenen Lichte beleuchtet, so kann der Ort vor dem Schirme, an welchem eine Normalkerze sich befinden muss, um den von hinten her erhellten Fettfleck zum Verschwinden zu bringen, durch Hin- und Herschieben gefunden werden. Nimmt man die Normalkerze (eine Wachskerze, von welchen sechs auf ein Pfund gehen) $= 1$ und die Entfernung, in welcher dieselbe den Fettfleck zum Verschwinden bringt, ebenfalls $= 1$, so kann die Intensität eines anderen zu prüfenden Lichtes gefunden werden, wenn man untersucht, in welcher Entfernung vom Schirme dasselbe imstande ist, den Fettfleck zum Verschwinden zu bringen. Es sei diese Entfernung $= n$. Da die Intensitäten zweier Lichter, die denselben Effect machen, im geraden Verhältnisse stehen zu den Quadratwurzeln ihrer Entfernungen, so wird die gesuchte Intensität $= \sqrt{n}$ sein.

Auch die Sehschärfenbestimmung wurde zur Photometrie benutzt, indem die Erfahrung lehrt, dass bei mässigem Grade der Beleuchtung die Sehschärfe proportional ist der Lichtintensität.

Zu diesem Zwecke stellt man sich zwei an einander stossende Flächen her, von welchen die eine von Licht mit bekannter Intensität, die andere mit unbekanntem Lichte beleuchtet ist. In jede dieser Flächen bringt man dieselben Schriftproben an. Hierauf wird die Beleuchtung in jeder der beiden Flächen um bestimmte Einheiten geschwächt (z. B. durch Milchglasplatten), und zwar derart, dass die Sehschärfe in beiden Fällen dieselbe ist. Hat man z. B. die unbekannte Lichtquelle durch vier Platten, die bekannte durch zwei Platten geschwächt, und ist hiebei die Sehschärfe in beiden Flächen gleich und z. B. $^1/_4$ geworden, dann ist die Intensität des unbekannten Lichtes zweimal so gross als die des

bekannten. Nothwendig ist hiebei, dass mit beiden Augen, oder immer mit demselben Auge untersucht wird, wobei das letztere rasch von einer Fläche zur anderen bewegt wird.

Bestehen die Sehproben aus Buchstaben oder Ziffern, so ist es nicht nothwendig, die Sehschärfe in beiden Fällen gleichzeitig zu prüfen, sondern es kann zuerst die Sehschärfe der einen gefunden und notirt und später die der anderen auf dieselbe Höhe gebracht werden.

Bei solchen Sehschärfebestimmungen ist darauf zu achten, dass die Helligkeitsunterschiede der Probeobjecte und des Grundes, auf welchem dieselben erscheinen, immer möglichst dieselben bleiben, da die Wahrnehmbarkeit mit Verminderung des Unterschiedes immer mehr abnimmt und völlig aufhört, wenn dieser Unterschied unter $^1/_{100}$ oder im günstigsten Falle unter $^1/_{180}$ sinkt.

Endlich muss bei solchen Prüfungen sehr strenge darauf gesehen werden, dass kein fremdes Licht auf die Objecte oder in das Auge des Beobachters fällt.

Noch sind bei Feststellung der Sehschärfe zwei Umstände zu berücksichtigen, welche auf ihre Höhe von grossem Einflusse sind, es sind dies die sogenannte Adaption der Netzhaut und die kleinen Augenbewegungen. Was erstere betrifft, so hat man gefunden, dass, wenn ein Auge aus einem mässig lichten Raume in einen dunkleren oder viel helleren gebracht wird, die Sehschärfe sinkt, bis sich die Netzhaut dem neuen Lichtquantum adaptirt hat. Dies soll vollständig erst nach drei Stunden erreicht werden (Aubert), aber schon nach einer Viertelstunde nicht weit mehr vom Maximum entfernt sein. Jedenfalls richtet sich die Zeit, innerhalb welcher sich die Netzhaut adaptirt, nach dem Unterschiede der Beleuchtungen, welchen das Auge zuerst oder später ausgesetzt war.

Die kleinen Augenbewegungen scheinen sehr wichtig für die Sehschärfe zu sein, indem nachgewiesen worden ist, dass bei dem Scheine des Funkens einer Leydenerflasche nur die einfachen Buchstaben erkannt, die complicirteren aber nicht wahrgenommen werden, und dass eben nur jener Punkt deutlich erschien, welcher fixirt wurde, während die entfernteren Theile der Buchstaben verschwommen erschienen.

Um den Lichtsinn der Netzhaut, welcher mit dem Formsinne durchaus in keinem konstanten Verhältnisse steht, zu prüfen, muss der kleinste Helligkeitsunterschied, den die Netzhaut zu unterscheiden vermag, bestimmt werden. Man kann hiezu verschiedene Methoden anwenden, so vor Allem die photometrischen, wobei jedoch die beiden Lichter von bekannter oder gleicher Intensität sein müssen, von welchen das eine um eine bestimmte Einheit abgeschwächt wird. Die einfachste Methode, diese Helligkeitsdifferenz zu bestimmen, ist wieder die Schattenmethode.

Wenn man von zwei gleich starken Lichtern von bekannter Intensität zwei Schatten eines Stabes auf eine lichte Fläche entwerfen lässt, so werden die beiden Schatten einander gleich sein, wenn die beiden Lichter gleich weit von der Wand entfernt sind. Die Intensität, mit welcher die Schatten beleuchtet werden, ist gleich $\frac{I}{d^2}$, wenn d die Entfernung der Lichter von der Wand bedeutet. Entfernt man nun

das eine der beiden Lichter, bis gerade der Schatten, den dasselbe entwirft, zu verschwinden beginnt, dann kann das Verhältniss der beiden Intensitäten durch folgende Ueberlegung eruirt werden. Der Grund wird nämlich beleuchtet durch eine Intensität, welche ausgedrückt wird durch $\frac{I}{d^2} + \frac{I}{d_/^2}$, wenn $d_/$ die Entfernung des verschobenen Lichtes ist, bei welcher der Schatten eben verschwindet. Der Schatten, den das entfernte Licht entwirft, wird beleuchtet von dem zweiten, also mit einer Helligkeit $\frac{I}{d^2}$. Die Differenz $\frac{I}{d_/^2}$ bedingt also die Wahrnehmbarkeit des Schattens, und wenn d^2 sehr gross wird, so verschwindet derselbe, weil der Ausdruck sich 0 nähert. Die Rechnung ergab, dass die kleinste, noch wahrnehmbare Helligkeitsdifferenz $^1/_{100}$ sei.

Eine zweite Methode, die minimalsten, eben wahrnehmbaren Helligkeitsunterschiede zu messen, besteht in der Verwendung der Masson-schen Scheibe. Eine solche Scheibe wird hergestellt, indem man zwei Papierschirme, einen weissen und einen schwarzen, radiär und nur in der Nähe des Randes einschneidet, und an einem derselben den Schnitt parallel mit der Peripherie fortsetzt. Soll der Grund der Scheibe weiss sein, so wird der letztere Schnitt an der schwarzen Scheibe, soll er schwarz sein, an der weissen Scheibe ausgeführt. Dieses halb losgelöste Stück wird von hinten her durch den Schlitz der anderen Scheibe derart vorgeschoben, dass ein kurzer radiärer Sector von Schwarz auf Weiss oder von Weiss auf Schwarz in der Nähe des Randes entsteht, welcher, wenn die Scheibe in Rotation gesetzt wird, durch den raschen Wechsel der Eindrücke von Weiss auf Schwarz einen grauen Kranz an der Peripherie der Scheibe bildet. Je schmäler der Sector von Schwarz auf weissem Grunde, oder von Weiss auf schwarzem Grunde wird, ein desto geringerer Helligkeitsunterschied ergibt sich zwischen dem grauen Kranze und dem Grunde der Scheibe. Ist die Helligkeit des Grundes = 1 und x^0 der eingeschobene Sector, so ist $\frac{x}{360^0}$ die gesuchte Helligkeitsdifferenz = D. Masson fand für $x = 3^0$, also für $D = {}^1/_{120}$.

Dies Ergebniss wäre jedoch nur dann absolut richtig, wenn Schwarz gar kein Licht reflectiren und Alles absorbiren würde.

Donders hat diese Methode wesentlich verbessert und vereinfacht. Auf einer weissen Scheibe wird vom Rande bis zum Centrum ein gleich breiter schwarzer Streifen gezogen, welcher an mehreren Stellen von einer weissen Brücke durchbrochen ist. Da der Streifen überall gleich breit ist, so muss er einen um so grösseren Sector der Kreisperipherie bilden, je mehr sich die Kreise dem Centrum nähern. Wird die Scheibe in Rotation gebracht, so wird desshalb der centrale Theil der Scheibe ein viel dunkleres Grau geben, als die mehr peripher gelegenen. Man braucht desshalb den zu Beobachtenden nur zu fragen, wie viele graue Ringe er sehe, welche mit weissen abwechseln. Je mehr solcher dunkler Ringe er wahrzunehmen imstande ist, desto kleiner ist die Helligkeitsdifferenz, die er empfindet, und desto kräftiger ist sein Lichtsinn ausgebildet. Will man die kleinste Helligkeitsdifferenz, die sich in einem gegebenen Falle ergibt, berechnen, so muss man die Helligkeit des Grundes = 1, d = der Breite des Streifens nehmen

und den Radius des noch wahrgenommenen grauen Ringes = r abmessen. Man hat dann die Helligkeitsdifferenz $D = 1 - \frac{d}{2 r \pi}$.

Durch alle diese Methoden lassen sich die Unterschiede in dem Lichtsinne verschiedener Personen nachweisen, aber kein Schluss auf den Einfluss einer solchen Herabsetzung des Lichtsinnes auf den Stand der Sehschärfe machen.

Der Untersuchung der Sehschärfe bei verschiedenen Lichtintensitäten ist der Lichtsinnmesser von Förster gewidmet.

Derselbe besteht aus einem auf einem Fusse ruhenden länglichen Kasten von 12″ Länge, 8″ Breite und 6″ Höhe. An einer der Schmalseiten befinden sich zwei Ausschnitte für die Augen und eine dritte Oeffnung von 2 □″, welche mit einem lichtgrauen Papier überspannt ist, das, von einer in einem Kamine vor der Oeffnung brennenden Kerze beleuchtet, die Lichtquelle für das Innere des Kastens abgibt. Nach innen zu ist die letztere Oeffnung von zwei geschwärzten Messingplatten begrenzt, von welchen die untere einen rechtwinkeligen, nach oben sehenden und die obere einen eben solchen, nach abwärts gerichteten Ausschnitt zeigt. Die obere Platte, welche sich mittelst eines doppelten Triebes zwischen der Oeffnung und der unteren Platte nach abwärts und aufwärts verschieben lässt, bildet mit ihren Ausschnitten die beiden oberen Seiten eines in seiner Grösse stets veränderlichen, mit einer seiner Diagonalen vertical stehenden Quadrates. Dieses Quadrat lässt sich von $^1/_2$ mm bis 34 mm Seite vergrössern. Die Verschiebung der oberen Platte lässt sich an einem mit ihr verbundenen Lineale ablesen.

Bringt man in den Grund des Kastens Schriftproben von Snellen, welche in zwölf oder mehr Zoll erkannt werden sollen, an, so kann damit der Einfluss des verminderten Lichtsinnes auf das Erkennen von Gegenständen eruirt werden.

Braucht ein Auge mit normalem Lichtsinne ein Quadrat von bestimmter Grösse als Lichtquelle, um Buchstaben von bestimmter Grösse zu erkennen, und braucht ein anderes krankes Auge ein x mal grösseres Quadrat, so wird daraus geschlossen, dass der Lichtsinn des Betreffenden x mal geringer sei als ein normaler.

Dieser Schluss ist jedoch nicht ganz correct, indem die Sehschärfe auch aus anderen Gründen herabgesetzt sein kann. Will man desshalb nicht den Einfluss des Lichtsinnes auf das Erkennen von Gegenständen, sondern nur einen Ausdruck für die Herabsetzung des Lichtsinnes an und für sich gewinnen, so muss man statt der Probebuchstaben zwei Flächen, weiss und grau, welche dicht an einander stossen, in den Kasten einsetzen und die minimalste Beleuchtung suchen, bei welcher eine Helligkeitsdifferenz zwischen den beiden Flächen eintritt.

Hat man für normale Augen die Grösse des Quadrates eruirt, bei welcher eine Helligkeitsdifferenz zwischen beiden Flächen entsteht, so wird bei herabgesetztem Lichtsinne ein viel grösseres Quadrat nothwendig sein, damit der Kranke diesen Helligkeitsunterschied herausfindet.

---

9. Capitel.

Die Untersuchung des intraoculären Druckes.

§ 65. Unter intraoculärem Drucke versteht man jene Druckwirkung, welche der Bulbusinhalt auf die Wände des Augapfels ausübt, und er findet seinen Ausdruck in der Spannung der Augenhäute. Der Bulbus wird bekanntlich in seinem vorderen Abschnitte von dem Humor aquaeus, in seinem hinteren Theile vom Glaskörper ausgefüllt. Dieser letztere ist zwar keine Flüssigkeit, sein Gewebe ist aber ein derartig zartes, dass man dessen Incompressibilität annehmen kann, und dass Druckveränderungen, welche sich in seinem Inneren entwickeln, sich ebenso rasch seiner ganzen Masse mittheilen, als wenn er eine Flüssigkeit wäre. Man hatte früher geglaubt, dass der Druck in der Vorderkammer ein anderer, und zwar ein höherer sei, als der im Glaskörper. Experimentelle Untersuchungen aber haben ergeben, dass unter gewöhnlichen physiologischen Verhältnissen dem nicht so sei, und in jenen Fällen, in welchen das von der Linse und der Zonula Zinii gebildete Diaphragma wegen Ungleichheit in den Druckverhältnissen sich gegen die Seite des geringeren Druckes vorbaucht, es nur ein Ueberdruck von 1 mm Hg sei, der dies bewirke. Man kann also annehmen, dass entweder überall im Bulbus die gleiche Druckhöhe vorhanden sei oder wenigstens innerhalb der beiden Abtheilungen desselben derselbe Druck herrsche. Die Höhe des Druckes ist selbstverständlich abhängig von dem Volumen des Augeninhaltes, aber auch von dem Füllungszustande der im Augapfel eingeschlossenen Gefässe.

Directe manometrische Bestimmungen des Augendruckes wurden selbstverständlich nur an Thieren gemacht. Bei diesen Versuchen ist das Ziel möglichst anzustreben, dass durch die Untersuchung selbst die Druckhöhe nicht verändert werde. Dies ist wohl niemals vollständig zu erreichen, lässt sich aber nach Regeln, welche Leber aufstellt, bis zu einem gewissen Grade vermeiden.

Vor Allem muss darauf gesehen werden, dass bei dem Einführen der Canüle auch nicht die geringste Menge von Kammerwasser abfliesst. Ferner muss während des Einführens der Canüle diese knapp an ihrer Verbindung mit dem Manometer abgesperrt und das Hg schon in vorhinein auf einen Druck gebracht werden, welcher dem mittleren Augendrucke entspricht. Wenn man die sehr zarte Stichcanüle von Leber, welche mittelst Punction und Contrapunction durch die Vorderkammer geführt wird und eine seitliche Oeffnung hat, mit sehr dünnen Kautschukschläuchen verbindet, so ist der ganze Apparat leicht und beweglich. Das Manometerrohr muss sehr enge sein, soweit es sich mit der leichten Beweglichkeit der Hg-Säule verträgt.

Da die auf diesem Wege erzielten Druckschwankungen nur davon herrühren können, dass Flüssigkeit aus dem Auge in das Manometer oder umgekehrt übertritt, und diese Veränderung im Augeninhalte die Höhe des Druckes wiederum beeinflusst, so wird diesem Fehler am

besten dadurch vorgebeugt, dass eben das Manometerrohr sehr dünn gemacht wird, so dass einer bestimmten Druckschwankung ein nur sehr geringes Uebertreten von Flüssigkeit entsprechen wird.

Auf diesem Principe beruht das Mikromanometer von Hering. Dasselbe besteht aus einem an dem einen Ende geschlossenen Capillarrohr, welches theils mit Luft, theils mit wässeriger Flüssigkeit gefüllt ist. Die geringen Schwankungen der bald ausgedehnten, bald comprimirten Luft werden mit dem Mikroskope abgelesen.

Die von den verschiedenen Autoren gewonnenen Resultate der manometrischen Untersuchungen sind bis jetzt noch immer derart schwankende und theilweise sich widersprechende, dass ein Abschluss in dem Verständnisse der einschlägigen Verhältnisse noch lange nicht erreicht ist, so dass manche Autoren wegen dieser Unbestimmtheit, aber auch desshalb, weil die Einführung des Instrumentes mit einer starken Reizung des Auges verbunden sein müsse, welche einerseits wieder den Augendruck verändere, die manometrische Messung des Augendruckes gänzlich verwerfen. Wenn aber nach dem Einführen des Instrumentes so lange gewartet wird, bis das Manometer so ziemlich zur Ruhe gekommen ist, und die Methode nicht zur absoluten Bestimmung der Druckhöhe, sondern nur zur Bestimmung der Druckschwankungen unter bestimmten Verhältnissen benutzt wird, kann dieser Fehler, der ohnehin kein grosser sein mag, vollkommen vernachlässigt werden.

Am Menschen konnten bisher selbstverständlich nur indirecte Methoden der Messung verwendet werden. Die einfachste, am meisten verbreitete und für practische Zwecke ausreichende ist die Palpation.

Dieselbe besteht darin, dass man, während das Auge nach abwärts blickt, die beiden Zeigefinger in der Nähe des Aequators und gegen die beiden Augenwinkel hin auf die Oberlider aufsetzt und abwechselnd bald mit dem einen, bald mit dem anderen drückt, ähnlich, wie die Fluctuation untersucht wird. Es ist dabei darauf zu achten, dass man oberhalb des Tarsus die Fingerspitzen aufsetzt, weil dieser bei seiner Verschiebung die Betastung stört. Durch bedeutende Uebung lassen sich auch feinere Unterschiede in der Bulbushärte unterscheiden, besonders wenn man das andere normale Auge zum Vergleiche zur Verfügung hat.

Nur muss man sich darüber klar sein, was durch die Palpation gemessen wird. Es ist dies nicht die Bulbusspannung allein, welche durch den intraoculären Druck bedingt wird, sondern gleichzeitig auch die grössere oder geringere Starrheit dieser Wandung. Was wir also bei der Palpation fühlen, ist eine Summe von Verhältnissen, von welchen bald der eine, bald der andere Summand in seiner Grösse wechseln kann, ohne dass diese mitbestimmt wird. So kann z. B. ein dickfleischiger, aber nicht aufgeblasener Kautschukballon dem betastenden Finger denselben Widerstand darbieten, wie ein sehr dünnwandiger aber stark gespannter.

Bowmann hat die verschiedenen Spannungsgrade des Bulbus, welche durch Palpation zu eruiren sind, in je drei Grade abgetheilt, und während er die normale Spannung mit dem Buchstaben T belegte, bezeichnete er die verschiedenen positiven Spannungsgrade mit T + 1, T + 2, T + 3 und die verschiedenen negativen T — 1, T — 2, T — 3.

Um einen bestimmten Zahlenwerth für die Bulbusspannung zu erlangen, hat man versucht den Fingerdruck durch den Druck eines Stiftes an einem Apparate zu ersetzen. Das Princip, das dabei in Anwendung kam, war, dass die Kraft bemessen wurde, welche dazu nöthig war, um mittelst des Stiftes einen Eindruck von bestimmter Tiefe in der Bulbuswand zu erzeugen, oder dieser letztere gemessen wurde, während die Kraft bekannt war.

Indem wir hier wieder darauf aufmerksam machen müssen, dass auch mit den sogenannten Tonometern nicht der intraoculäre Druck allein, sondern dieser plus der Starre der Bulbuswand gemessen wird, wollen wir die wichtigsten der einschlägigen Apparate kurz beschreiben.

Das erste brauchbare Tonometer wurde von Hamer unter Donders' Leitung construirt. Es besteht aus einem metallenen Tubus, in dessen Mitte ein Stift angebracht ist, welcher durch die Kraft einer aufgerollten Uhrfeder etwas aus der Tubusröhre herausragt. Wird dieses Instrument auf den Bulbus aufgesetzt, so wird der Stift entweder einen Eindruck auf die Bulbuswand machen, oder von dieser zurückgedrängt die Feder zusammendrücken. In jedem Falle wird mittelst eines mit der Feder in Verbindung stehenden Zeigers der Grad der Zusammendrückung der Feder angezeigt werden. Da die Bulbuswand gewölbt ist, muss auf diese Krümmung bei Beurtheilung des entstehenden Eindruckes Rücksicht genommen werden. Zu dem Zwecke musste ein zweiter ähnlicher Tubus mit einem eben solchen mittleren Stifte, welcher aber unter möglichst geringer Reibung aus- und einzuschieben ist, auf dem Bulbus aufgesetzt werden. Die Druckgrade, die man auf diesem Wege erhielt, konnten an und für sich keinen Maassstab für die absolute Spannung des Auges bilden, sondern höchstens den Wechsel in den Spannungsverhältnissen anzeigen.

Es musste noch an Cadaveraugen oder an Augen frisch getödteter Kaninchen der Augendruck manometrisch und tonometrisch bestimmt und in solcher Weise eine empirische Scala für die tonometrischen Resultate aufgestellt werden.

Die Unvollkommenheiten des Hamer'schen Instrumentes wurden durch Monnik verbessert, indem er einerseits den Tubus durch zwei Stifte ersetzte, deren Stand ebenso wie der des mittleren an einer Gradeintheilung abgelesen werden konnte, und andererseits, indem er das Instrument so eingerichtet hat, dass bei einem constanten Gewichte der Eindruck in die Bulbuswand zu messen war, und dass bei einem bestimmten Eindrucke das dazu erforderliche Gewicht gefunden werden konnte.

Nachdem das Monnik'sche und die ihm ähnlichen Instrumente die Druckkraft oder die Tiefe des Eindruckes messen, ohne auf die Verschiedenheiten in der Form dieses letzteren Rücksicht zu nehmen, haben Snellen und Landolt eine Modification des Monnik'schen Instrumentes angegeben, welche dies ermöglichen soll. Sie haben nämlich nebst dem mittleren Stifte beiderseits einige andere, welche unabhängig von einander und von dem mittleren Stifte mit möglichst geringer Reibung verschiebbar sind, angebracht. Mittelst dieser Stifte, deren Stellung an ihrem oberen Ende markirt werden konnte, liess sich die Form des gesetzten Eindruckes darthun. Später verbesserten diese Autoren ihr Instrument noch dahin, dass die seitlichen Stäbchen in dem Momente der

grössten Spannung in ihrer Stellung gehemmt werden konnten, und dass sie statt sechs Stäbchen nur zwei anbrachten, deren relative Stellung zum mittleren Stifte veränderlich war. Es konnte somit durch einige Wiederholungen des Versuches bei verschiedener Stellung der Stäbchen und verschiedenen Drehungen des Instrumentes sowohl die Tiefe als die Form des Eindruckes bestimmt werden.

In allerneuester Zeit hat Priestley Smith ein Instrument angegeben, bei welchem die Messung des mit einem Stifte gemachten Eindruckes sich sehr einfach ergibt, indem an dem den Eindruck erzeugenden Stifte selbst ein kleines Plättchen verschieblich angebracht ist, welches an der dem Bulbus zugekehrten Seite eine Aushöhlung trägt, welche der Krümmung der Bulbuskapsel entspricht. Bei dem Gebrauche des Instrumentes verschiebt sich das Plättchen nach aufwärts, und es entspricht jedem $1/10$ mm Verschiebung eine Bewegung des mit der Platte in Verbindung stehenden Zeigers von 12 mm. Es kann desshalb aus der Bewegung des Zeigers die Tiefe des Eindruckes berechnet werden.

Die Höhe des intraoculären Druckes schwankt bei den manometrischen Versuchen an Thieren zwischen 20—30 mm Hg. Die nach verschiedenen Methoden und bei verschiedenen Thieren von verschiedenen Beobachtern angestellten Versuche ergeben eben Resultate, welche sich zwischen diesen Zahlen bewegen, und wenn auch die absolute Zahl der einzelnen Beobachter nicht maassgebend sein kann, so muss es doch die Durchschnittszahl der bei so zahlreichen Versuchen erlangten Resultate sein.

Ausser dem Volumen der verschiedenen Augenflüssigkeiten sind es die intraoculären Gefässe, deren Füllung, sowie der allgemeine Blutdruck, welche die Höhe des Augendruckes beeinflussen. Es ist auch von allen Experimentatoren anerkannt worden, dass das Steigen und Fallen des Blutdruckes auch Steigen und Sinken des Augendruckes nach sich ziehe.

Unterbindet man z. B. die Carotis auf einer Seite, so sinkt plötzlich der intraoculäre Druck des betreffenden Auges, während das nicht betroffene einen normalen Stand der Augenspannung zeigt. Reizung des Nervus vagus oder des Nervus depressor bringt ebenso wohl Sinken des intraoculären Druckes, sowie auch Sinken des Blutdruckes zustande, indem die Herzthätigkeit und damit die Druckkraft desselben sehr verringert wird. Bekanntlich sinkt der Blutdruck sehr beträchtlich bei Durchschneidung des Rückenmarkes zwischen Hinterhaupt und Atlas. Die Ursache dieses Sinkens beruht auf der Lähmung der vasomotorischen Nerven, wodurch eine paralytische Erweiterung aller, vornehmlich aber der Bauchgefässe eintritt, so dass fast alles Blut dahin zuströmt und dort wie in einem Reservoire zurückgehalten wird. Dadurch sinkt die Herzthätigkeit ganz enorm und in Folge dessen der Blutdruck in der Carotis, was wiederum ein bedeutendes Sinken des Augendruckes zur Folge hat.

Dagegen ruft das Abklemmen der Aorta descendens oder die Reizung der Medulla oblongata eine bedeutende Steigerung des Blutdruckes und ebenso des Augendruckes hervor. Behinderung des venösen Rückfliessens hat nur dann einen Einfluss auf den Augendruck, wenn das Hinderniss sehr nahe an dem Auge liegt. So haben Adamük

und Leber durch Unterbinden der Vv. vorticosae colossale Drucksteigerungen zu Wege gebracht, wogegen Unterbindung der Vv. jugulares kaum einen Einfluss auf die Spannung des Bulbus nimmt.

Alle Experimentatoren haben kleinere Schwankungen, die mit dem Pulse, und grössere, die mit der Respiration synchronisch sind, beobachtet und angegeben. Es sind jedoch diese Schwankungen um so geringer, je enger die Manometerröhre ist, so dass sie im Hering-schen Mikromanometer fast ganz verschwunden sind. Endlich berichten verschiedene Autoren über grössere Steigerungen des intraoculären Druckes bei Aussetzen der künstlichen Respiration an curarisirten Thieren, jedoch nur dann, wenn der Brustkorb nicht zu weit eröffnet worden ist.

Es ist selbstverständlich und durch ophthalmoskopische Untersuchung nachgewiesen worden, dass jeder auf dem Bulbus von aussen her lastende Druck die innerliche Druckhöhe vermehrt. So entsteht leicht Venen- und Arterienpuls in disponirten Augen bei Auflegen eines Fingers auf den Bulbus. Der Lidschluss sowie die Contraction der exterioren Augenmuskeln bedingt eine Druckerhöhung, die selbstverständlich rasch wieder zurücktritt. Ebenso erklärlich ist es, dass Reizung des Oculomotorius dieselbe Wirkung hat.

Nach Leber soll auch das Anlegen eines Druckverbandes eine Verstärkung der natürlichen Spannung bewirken.

Meine eigenen sowie fremde Erfahrungen lehren jedoch, dass der Druckverband fast ausnahmslos den intraoculären Druck herabsetzt. Ist dies schon in ganz normalen Augen der Fall, so gilt dies in noch viel höherem Grade von solchen Augen, die sich im Zustande der Hypotonie befinden, oder deren pathologischer Zustand erfahrungsgemäss zur Herabsetzung der Augenspannung disponirt. Nur bei stark gespannten Augen und solchen, die zur Hypertonie neigen, scheint der Druckverband die latente Disposition zu steigern, so dass unter demselben häufiger als ohne denselben eine ständige Drucksteigerung aufzutreten vermag.

Die Contraction der interioren Augenmuskeln des Ciliarmuskels und der Irismuskeln nämlich haben keinen Einfluss auf die Veränderung des intraoculären Druckes; auch eine etwaige Verschiedenheit im Glaskörper- und Kammerdruck wird in Abrede gestellt, sowie auch mittelst des Tonometers eine Aenderung in der Augenspannung nicht nachgewiesen werden konnte.

Förster und Coccius haben Fälle veröffentlicht, welche eher darauf hinweisen, dass bei der Accommodation für die Nähe der Druck sinke. In Förster's Falle handelt es sich um eine sogenannte Keratokele, bei welcher ein centrales Hornhautgeschwür nach Perforation derartig heilt, dass eine feine Fistelöffnung in der Mitte des äusserst dünnen Geschwürsgrundes übrig bleibt, durch welche zuweilen Kammerwasser in Form eines Tröpfchens hervortritt. Förster beobachtete nun, dass bei der Accommodation für die Nähe der Geschwürsgrund einsank und ebenso ein Zurücksinken des in der Fistelöffnung stehenden Tropfens, während beim Blick in die Ferne der Grund sich wieder vorwölbte und ein Tropfen Flüssigkeit in die Oeffnung wieder eintrat. Dies würde für ein Sinken des Druckes im ersten Momente und für ein Steigen desselben im zweiten sprechen, wenn die Spannungsver-

hältnisse des Augapfels bei geschlossener Kapsel sich nicht anders verhalten müssten, als bei offener.

Dagegen haben wir in den letzten Jahren die Erfahrung gemacht, dass alle jene Mittel, welche die Pupille verengern und einen Krampf des Ciliarmuskels hervorrufen, den Augendruck herabsetzen, während jene, welche die Pupille erweitern und den Ciliarmuskel lähmen, Drucksteigerung herbeiführen.

Wohl hat man bei früheren Untersuchungen zu finden geglaubt, dass das Atropin, wenigstens im Beginne seiner Wirkung, den Augendruck herabsetzt.

In normalen Augen lässt sich die durch Atropin bewirkte Drucksteigerung durch die Palpation wenigstens kaum nachweisen. Eine reifliche Erfahrung lehrte jedoch, dass in zur Drucksteigerung disponirten Augen Atropin und andere mydriatische Mittel eine stundenlang währende Druckerhöhung und sogenannte glaucomatöse Erscheinungen hervorriefen. Von den myotischen Mitteln hat man sich sowohl in theoretischer Weise als auch durch die practische Erfahrung von der druckherabsetzenden Wirkung derselben überzeugt. Es entsteht nun die Frage, wie man sich einerseits das Eintreten der Drucksteigerung durch Mydriatica, andererseits die Herabsetzung der Augenspannung durch Myotica erklären soll. Wir haben schon im zweiten Capitel gesehen, dass es höchst wahrscheinlich sei, dass die Mydriatica auf die Vaso-constrictores der Iris erregend wirken, wodurch eine Contraction der Gefässe und eine Verringerung des Irisvolums bewirkt wird. Es ist selbstverständlich, dass ein Hinderniss in der Iriscirculation den Druck in den zuführenden Ciliararterien erhöhen müsse, und da der Blutdruck in den Gefässen, wie wir schon gesehen haben und noch ferner hören werden, die Spannung der Bulbuskapsel erhöht, so resultirt hieraus ein befriedigender Erklärungsgrund für die Druckerhöhung.

Die myotischen Mittel bewirken eine Erweiterung der Irisgefässe, sei es durch Schwächung der Vaso-constrictores oder durch Reizung der Vaso-dilatatores. Die Irisgefässe füllen sich desshalb leicht mit Blut, wodurch der Druck in den zuführenden Arterien sinkt. Dieses Sinken des Blutdruckes überträgt sich auf den Augendruck, und es wird dadurch erklärlich, wie die pupillenverengernden Mittel denselben herabsetzen.

Diese Beobachtungen führen uns direct den Erklärungsweisen zu, die man über die Entstehung der pathologischen Hypertonie und Hypotonie aufgestellt hat.

Es ist von selbst klar, dass eine Erhöhung des mittleren Blutdruckes durch eine momentan bestehende Volumszunahme des Augeninhaltes verursacht wird, und dass eine Verminderung der Augenspannung eine in demselben Augenblicke bestehende Verminderung der Augencontenter zur Voraussetzung hat. Beide Zustände werden in sonst normalen Augen im nächsten Moment durch vermehrte Abfuhr der Flüssigkeiten resp. durch vermehrten Zufluss wieder ausgeglichen. Es handelt sich nun also um eine Erklärung für die *ständig* gewordenen Spannungsanomalien des Auges.

Die Einen behaupten, diese Anomalien entständen durch eine Störung in dem Gleichgewichte zwischen Zufuhr und sich gleich-

bleibender Abfuhr oder in einer Behinderung der Filtration nach aussen bei gleichbleibendem Zuströmen des Blutes.

Die Hypotonie sollte entstehen durch Verminderung des Zuflusses bei gleichbleibendem Abflusse oder durch Vermehrung der abgeführten Menge bei gleichbleibendem Zuflusse.

Von anderer Seite wird betont, dass jede Vermehrung des Zuflusses unmittelbar zu einer Vermehrung des Abflusses und jede Behinderung in dem Abströmen der Flüssigkeiten eine Verminderung des Zuflusses unmittelbar nach sich zieht, so dass das Gleichgewicht zwischen Zu- und Abfuhr niemals gestört, sondern nur die Gleichgewichtsstellung des Flüssigkeitswechsels im Auge nach einer oder der anderen Seite hin verschoben sei, d. h. sowohl bei vermehrtem Augendrucke als auch bei vermindertem halten sich, so wie im normalen Auge, die „Infiltration und Exfiltration“ das Gleichgewicht.

Der Folgerichtigkeit dieser Argumentation zustimmend, müssen wir jedoch daran erinnern, dass mit jeder Behinderung und Verringerung des Abflusses eine rückwirkende Erhöhung des Blutdruckes stattfinden, und dass mit der Erweiterung der Abflusswege eine Herabsetzung des Blutdruckes in den zuführenden Arterien entstehen muss.

Wir schliessen demnach aus dem Erörterten, dass eine ständige Hypertonie aus einer ständigen Vermehrung des Blutzuflusses oder aus einer Behinderung des Abflusses entstehen kann, und dass eine beständige Hypotonie eine andauernde Herabsetzung des Blutdruckes oder eine Vermehrung resp. Erweiterung der Abflusswege zur Ursache hat.

Von grösster Wichtigkeit ist es zu erfahren, welcher der im Auge verzweigten Nerven einen Einfluss auf die Augenspannung habe. Leider sind die bisherigen Untersuchungen noch widerspruchsvolle, so dass eine sichere Kenntniss derzeit noch nicht erlangt worden ist.

In Betreff des Nervus sympathicus wurde so viel eruirt, dass im Beginne der Reizung der Augendruck rasch ansteigt, um bald (sogar noch während der Reizung) zu sinken, und zwar oft bis unter das normale Niveau. Dieses Steigen wurde von einer Seite durch Contraction des bei Thieren stark ausgebildeten, ebenfalls vom Sympathicus innervirten Musc. orbitalis erklärt, während von anderer Seite behauptet wurde, dass die Drucksteigerung nicht ausbliebe, wenn der Orbitalmuskel vorher zerstört wurde. Dagegen wurde die bei dem Versuche mitauftretende Vermehrung des allgemeinen Blutdruckes als Grund für die Steigerung des intraoculären Druckes angegeben. Das später eintretende Sinken des Augendruckes soll auf einer Verengerung der intraoculären Gefässe und dadurch behindertem Zuflusse des Blutes beruhen.

Unseres Erachtens nach ist die anfängliche Steigerung des Augendruckes einfach aus der hochgradigen Mydriase, die bei Reizung des Sympathicus auftritt, zu erklären, und das nachherige Sinken der Spannung auf eine Verengerung der extraoculären Arterien und verminderten Blutzufluss zum Auge zurückzuführen.

Der Einfluss des Nervus trigeminus auf den Augendruck wurde auch von verschiedenen Beobachtern, jedoch mit zum Theile ebenfalls widersprechenden Angaben geprüft. Nach v. Hippel und Grünhagen soll zuerst eine Erweiterung der Gefässe die Folge der Reizung sein und die aus der letzteren entstehende Vermehrung der Secretion die Ursache einer Drucksteigerung werden, welche die Reizung lange über-

dauert. Diese Beobachter hatten jedoch den Trigeminus nicht direct gereizt, sondern die Medulla oblongata, in welcher dieser Nerv entsteht, indem sie Nadeln einerseits zwischen Atlas und Hinterhaupt, andererseits in dieses letztere stachen und mit dem Inductionsstrome reizten. Weiters reizten sie die Cornea mit verschiedenen chemischen Reizmitteln. Bei Reizung der Medulla oblongata erhielten die Beobachter eine colossale Drucksteigerung bis zu 200 mm Hg. Der Ansicht, dass die Drucksteigerung auf Reizung des vasomotorischen Centrums zurückzuführen sei, traten sie mit den Angaben entgegen, dass Reizung des Halsmarkes eine bedeutend geringere Drucksteigerung zu Wege brachte, und dass auch nach Unterbindung der Aorta descendens die Reizung der Medulla oblongata noch eine bedeutende Zunahme der Drucksteigerung bewirkte. Sie gaben jedoch selbst an, dass nach Lostrennung des Halsmarkes von dem verlängerten Marke Reizung dieses letzteren keinen Einfluss mehr auf den intraoculären Druck hatte. Mit Recht behauptet Leber, dass diese Thatsache sehr für die von den Verfassern bekämpfte Ansicht spricht, dass bei der Reizung der Medulla oblongata das Gefässcentrum mit gereizt wurde und die Reizung des letzteren die Drucksteigerung bewirke. Auch bei Application von Reizmitteln, namentlich von Nicotin, auf die Cornea sahen diese Beobachter sehr bedeutende Steigerung des intraoculären Druckes. Adamük dagegen hatte den Trigeminus in der Schädelhöhle gereizt und fand ebenfalls eine anfängliche Steigerung des intraoculären Druckes, welcher aber bald ein Sinken folgte. Adamük arbeitete mit dem Mikromanometer von Hering und vindicirt sich desshalb die genaueren Resultate. Mit demselben Instrumente mass er auch die Geschwindigkeit der Absonderung des Kammerwassers bei Trigeminusreizung und fand, dass dieselbe nicht gesteigert sei. Adamük erklärt die anfängliche Steigerung des Druckes bei Trigeminusreizung aus der gleichzeitig auftretenden Erhöhung des Gefässdruckes, durch welch' letzteren Umstand sich auch die Druckerhöhung durch auf die Cornea wirkende Reize nach Adamük erklären lasse, weil auch durch diese der Blutdruck gesteigert werde. Nach Adamük gäbe es bis jetzt keine experimentellen Thatsachen, aus welchen auf eine specifische Wirkung gewisser Nerven auf die Höhe des intraoculären Druckes und die Flüssigkeitsabsonderung geschlossen werden könnte.

Nach Durchschneidung des Trigeminus fanden Snellen und Donders nach einiger Zeit ein sehr bedeutendes Sinken des Augendruckes, auch wenn das Auge gehörig geschützt worden war. Dagegen fanden v. Hippel und Grünhagen, dass unmittelbar nach der Trigeminusdurchschneidung das Auge härter und prominent wurde. Wurde es nun gehörig geschützt, so ergab nach sechs Tagen die Bestimmung des Augendruckes keine Veränderung gegen den der anderen Seite. Sie behaupten, dass das Sinken des Augendruckes erst dann beginne, wenn eine neuroparalytische Keratitis eintrete.

Auch bei Menschen mit Trigeminuslähmung finden wir den intraoculären Druck stark herabgesetzt, doch kommt der Augenarzt erst dann in die Lage, solche Kranke zu beobachten, wenn entzündliche Veränderungen der Cornea schon aufgetreten sind, welche den Kranken zum Oculisten führen.

Die Herabsetzung des Druckes kann in diesem Stadium zum

Theile sowohl von der Trigeminuslähmung als auch von der neuroparalytischen Hornhautentzündung oder von beiden zugleich abhängig sein.

Nach Contusionen des Auges pflegt zuweilen der als essentielle Phthise oder als Hypotonie bekannte Zustand einzutreten, welcher in einer dauernden Herabsetzung der Bulbusspannung besteht, ohne dass sich an die Verletzung ein entzündlicher Zustand angeknüpft hätte. Dieser wie der früher beschriebene Krankheitszustand scheint durch Nerveneinfluss vermittelt zu werden.



Alphabetisches Register.

D.

E.

F.

G.

H.

Corrigenda.

Pag. 2, Fig. 2: d, d,, soll parallel zur Axe sein.

Pag. 24, Fig. 9: Fehlt bei d, der Strich.

Pag. 101, Fig. 27 β: Die zwischen der Concavlinse und dem Auge E liegenden Strahlen sollen parallel sein.

Pag. 201, Fig. 52: f soll in der Peripherie des Kreises liegen.